

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior



Proyecto Fin de Carrera

---

*Diseño de una Subestación Eléctrica Móvil*  
*110/13,8 kV 15 MVA*

---

Ingeniería Industrial – Departamento de Electricidad

*Ana Bamonde Cachón*

---

DIRECTOR: *Julián Cabañas*

TUTORA: *Mónica Chinchilla*

Leganés, Octubre 2013



### Resumen del Proyecto

Debido a que la electricidad es un bien esencial y puesto que una interrupción de la misma tiene importantes consecuencias, tanto económicas como sociales, en las últimas décadas se ha trabajado en la búsqueda de soluciones para evitar estas interrupciones. Con este fin aparecen las subestaciones eléctricas móviles, que podrán sustituir a una subestación convencional durante tareas de reparación o mantenimiento de la misma, o durante emergencias (debidas a catástrofes naturales entre otras causas) donde se interrumpa el suministro.

Por lo tanto, este Proyecto Fin de Carrera consistirá en el diseño de una subestación eléctrica móvil realizado durante un periodo de prácticas en la empresa Alstom Grid S.A., situada en San Fernando de Henares (Madrid). Por este motivo, parte de la información ha sido proporcionada por dicha entidad.

La subestación móvil consistirá en tres tráileres o semirremolques con la aparatenta y equipos eléctricos necesarios. El destino de la subestación móvil será Colombia y allí el cliente elegirá donde y cuando utilizarla.

A lo largo de este documento se expondrán y desarrollarán todos los datos y cálculos necesarios para el diseño de la subestación. Esto se hará a partir de los documentos básicos que son parte habitual de un proyecto técnico como memoria técnica, cálculos, presupuesto y planos.

En primer lugar habrá una introducción donde se hará una breve descripción de las subestaciones eléctricas convencionales y móviles así como sus principales diferencias para entender el contexto de uso de cada tipo. También se explicará brevemente la tecnología escogida para esta subestación (tecnología híbrida) situándola en el panorama actual respecto a las dos tecnologías tradicionales (AIS y GIS). Por último, se realizará una breve explicación de los equipos más importantes incluidos en esta subestación.

A continuación, la memoria explicará de forma descriptiva la subestación en general y el objetivo de la misma, así como la distribución de los equipos y sus especificaciones. Después, una serie de cálculos explicarán la elección y toma de algunas decisiones técnicas. Por último se presentará el presupuesto, en donde se muestra un desglose de los costes de los equipos principales, así como de los costes de ingeniería, montaje y transporte.

Al final del Proyecto se expondrán las conclusiones obtenidas a la finalización del mismo, así como posibles modificaciones que se podrían realizar de cara al futuro.

Además, en el Anexo 1 se incluyen los planos principales y los esquemas unifilares de la subestación mientras que en el Anexo 2 se incluirán catálogos de algunos de los equipos eléctricos utilizados en este proyecto.



## Índice

1	Introducción.....	10
1.1	Introducción .....	10
1.2	El sistema eléctrico colombiano .....	10
1.3	Subestaciones eléctricas convencionales .....	13
1.4	Subestaciones eléctricas móviles .....	14
1.5	Subestaciones GIS vs Subestaciones AIS.....	17
1.6	Subestaciones híbridas .....	18
1.7	Transformadores de Potencia.....	20
1.8	Celdas de Media Tensión.....	22
1.9	Pararrayos o autoválvulas .....	25
1.10	Transformadores de medida.....	27
1.11	Relés de Protección.....	29
1.12	Equipos de Servicios Auxiliares .....	31
1.12.1	Transformador de Servicios Auxiliares .....	31
1.12.2	Rectificador-Batería.....	31
1.12.3	Bastidor de distribución de servicios auxiliares (AC/DC) .....	32
2	Memoria .....	34
2.1	Objetivo y antecedentes .....	34
2.2	Titular, plazo de ejecución y lugar de entrega .....	34
2.3	Reglamentos y disposiciones oficiales .....	34
2.4	Descripción de la subestación.....	35
2.4.1	Condiciones ambientales .....	35
2.4.2	Características básicas del diseño.....	35
2.4.2.1	Lado de Alta Tensión .....	35
2.4.2.2	Frecuencia .....	36
2.4.2.3	Lado de Media Tensión.....	36
2.4.3	Equipos .....	36
2.5	Dimensiones máximas de transporte .....	37
2.6	Especificaciones Técnicas .....	37
2.6.1	Semirremolque 1 .....	37
2.6.1.1	Góndola .....	38
2.6.1.2	Pararrayos 110 kV .....	38



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

2.6.1.3	Transformadores de tensión 110 kV .....	39
2.6.1.4	Módulo híbrido “HYpact” 145 kV .....	40
2.6.1.5	Plataforma giratoria .....	43
2.6.1.6	Equipo de tratamiento de SF <sub>6</sub> .....	43
2.6.2	Semirremolque 2 .....	44
2.6.2.1	Góndola .....	44
2.6.2.2	Pararrayos 110 kV .....	45
2.6.2.3	Transformador de Potencia .....	45
2.6.3	Semirremolque 3 .....	48
2.6.3.1	Góndola .....	48
2.6.3.2	Carrozado .....	49
2.6.3.3	Cabinas de Media Tensión .....	52
2.6.3.4	Armario de distribución AC/DC .....	60
2.6.3.5	Equipo Rectificador/Batería .....	62
2.6.3.6	Equipo de Protección & Control .....	64
2.6.3.7	Transformador de Servicios Auxiliares .....	68
2.6.3.8	Cable de media tensión .....	70
2.7	Ensayos y Pruebas .....	71
2.7.1	Hypact .....	72
2.7.2	Transformador de Potencia .....	72
2.7.3	Celdas de media tensión .....	73
2.7.4	Autoválvulas o Pararrayos .....	74
2.7.5	Transformadores de tensión .....	74
2.7.6	Transformador de Servicios Auxiliares .....	74
2.7.7	Pruebas finales de aceptación de la subestación completa .....	75
2.8	Régimen de funcionamiento .....	75
2.9	Project Management .....	76
3	Cálculos .....	79
3.1	Introducción .....	79
3.2	Datos de partida: Potencia instalada .....	79
3.3	Corrientes máximas de funcionamiento normal .....	80
3.3.1	Posición de transformador de 110 kV .....	80
3.3.2	Posición de transformador de 13,8 kV .....	80





## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

3.4	Distancias eléctricas y distancias de seguridad.....	81
3.4.1	Distancias eléctricas .....	81
3.4.2	Distancias de seguridad .....	83
3.5	Ajuste y coordinación de los equipos de protección y control .....	84
3.5.1	Ajuste de las protecciones de sobre corriente.....	84
3.5.2	Ajuste de las protecciones diferenciales .....	86
3.5.3	Coordinación de protecciones de sobre corriente.....	87
3.6	Puesta a Tierra .....	89
4	Presupuesto .....	92
4.1	Introducción .....	92
4.2	Presupuesto de las plataformas y sus equipos.....	92
4.2.1	Semirremolque 1 .....	92
4.2.2	Semirremolque 2 .....	93
4.2.3	Semirremolque 3 .....	93
4.3	Presupuesto montaje .....	94
4.4	Presupuesto Ingeniería.....	94
4.5	Presupuesto Transporte.....	95
4.6	Presupuesto Total.....	96
5	Conclusiones.....	98
5.1	Conclusiones del Proyecto.....	98
6	Referencias .....	100
ANEXO 1: PLANOS .....		102
ANEXO 2: CÁATALOGOS .....		108



## Índice de Figuras

Figura 1. Reparto de la capacidad de generación por recursos .....	12
Figura 2. Esquema de una subestación eléctrica .....	13
Figura 3. Subestación eléctrica convencional.....	14
Figura 4. Subestación eléctrica móvil.....	16
Figura 5. Subestación AIS .....	17
Figura 6. Subestación GIS .....	18
Figura 7. Tecnología AIS vs tecnología híbrida.....	19
Figura 8. Interruptor de doble movimiento .....	19
Figura 9. Componentes módulo híbrido “HYpact” .....	20
Figura 10. Partes del Transformador de Potencia.....	21
Figura 11. Transformador de Potencia en aceite .....	22
Figura 12. Transformador de Potencia Seco .....	22
Figura 13. Esquema unifilar referencial celda de línea .....	23
Figura 14. Esquema unifilar referencial celda de transformador .....	24
Figura 15. Esquema unifilar referencial celda de medida .....	24
Figura 16. Esquema unifilar referencial celda de servicios auxiliares .....	24
Figura 17. Esquema unifilar referencial celda acoplamiento y remonte de barra .....	25
Figura 18. Pararrayos "de cuernos" .....	25
Figura 19. Pararrayos de resistencia variable .....	26
Figura 20. Pararrayos de Óxido de Zinc .....	26
Figura 21. Partes de un Transformador de Corriente .....	28
Figura 22. Partes de un Transformador de Tensión.....	29
Figura 23. Semirremolque 1 .....	37
Figura 24. Pararrayos 110 kV.....	39
Figura 25. Transformador de tensión .....	40
Figura 26. Diagrama unifilar "Hypact" .....	42
Figura 27. Dimensiones de la "Hypact" .....	42
Figura 28. Equipo para el tratamiento de SF <sub>6</sub> .....	43
Figura 29. Semirremolque 2 .....	44
Figura 30. Transformador de Potencia .....	47
Figura 31. Semirremolque 3 .....	48
Figura 32. Carrozado .....	52



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Figura 33. Compartimentos de la celda de media tensión .....	53
Figura 34. Celdas de Media Tensión PIX .....	60
Figura 35. Armario Servicios Auxiliares.....	62
Figura 36. Rectificador / Batería .....	64
Figura 37. Equipos de P&C.....	68
Figura 38. Transformador de Servicios Auxiliares .....	69
Figura 39. Cable de media tensión .....	71
Figura 40. Conexión de la parte de Alta Tensión .....	76
Figura 41. Departamentos implicados en la Gestión de Proyectos .....	77
Figura 42. Distancia eléctrica de los elementos de la parte de alta tensión.....	81
Figura 43. Ejemplo distancias eléctricas entre equipos y fases .....	82
Figura 44. Distancia eléctrica de los elementos de la parte de media tensión.....	82
Figura 45. Distancia eléctrica entre fases y elementos puestos a tierra.....	83
Figura 46. Características de operación de los relés de sobre corriente .....	86
Figura 47. Característica de operación de la protección diferencial.....	87
Figura 48. Coordinaciones de protecciones de sobre corriente .....	88
Figura 49. Coordinación de dos relés de sobre corriente .....	88



## Índice de Tablas

Tabla 1. Configuraciones sin necesidad de permiso especial de circulación .....	15
Tabla 2. Configuraciones con necesidad de permiso especial de circulación .....	15
Tabla 3. Dimensiones y pesos máximas de los vehículos .....	37
Tabla 4. Características HYpact .....	41
Tabla 5. Configuración del Transformador de potencia.....	46
Tabla 6. Distancias mínimas en pasillos.....	84
Tabla 7. Relés de sobre corriente.....	86
Tabla 8. Presupuesto Semirremolque 1 .....	92
Tabla 9. Presupuesto Semirremolque 2 .....	93
Tabla 10. Presupuesto Semirremolque 3 .....	93
Tabla 11. Presupuesto equipos .....	94
Tabla 12. Presupuesto Ingeniería.....	95
Tabla 13. Presupuesto Transporte .....	95
Tabla 14. Presupuesto Total .....	96



# 1

# Introducción

---



# 1 Introducción

## 1.1 Introducción

Las subestaciones eléctricas son instalaciones destinadas a realizar diferentes tareas como transformaciones de la tensión, de la frecuencia, del número de fases o la conexión de dos o más circuitos de cara a favorecer el transporte y la distribución de la energía eléctrica. Las subestaciones pueden encontrarse tanto al aire libre como en el interior de edificios [1]. Otra alternativa son las subestaciones eléctricas móviles que tienen la ventaja de poder ser trasladadas a distintos puntos geográficos para ser usadas donde y cuando se necesite. Actualmente podemos encontrar subestaciones móviles en prácticamente cualquier país del mundo, aunque es posible que su uso sea distinto dependiendo de la zona en la que se encuentre. En zonas menos desarrolladas, donde la red eléctrica sufre continuos parones y no es posible garantizar la continuidad del suministro, las subestaciones eléctricas pueden ser muy útiles ya que permitirán mantener el suministro mientras se restablece la red o incluso mientras se procede a realizar trabajos de modernización en caso de contar con los recursos económicos adecuados. En otras zonas, sin embargo, la idea inicial de uso puede ser distinta, como por ejemplo, en países que sufren con relativa frecuencia terremotos, tornados o cualquier otro fenómeno natural que provoca grandes daños en el sistema eléctrico y hace necesario el uso de subestaciones móviles para garantizar el suministro de energía eléctrica durante estas emergencias.

Lo explicado anteriormente muestra simplemente algunas situaciones que pueden llevar a un cliente a adquirir una subestación móvil. Sin embargo, la gran ventaja será que, a pesar de que inicialmente el cliente tenga un uso pensado para la subestación, ésta podrá adaptarse a otras situaciones y otros usos que a lo mejor en primera instancia no estaban planificados. Por lo tanto, la flexibilidad, entre otros factores, tendrá un papel importante a la hora de optar por una subestación de este tipo y el cliente deberá analizar qué tipo de subestación será más adecuada de acuerdo con su necesidad.

## 1.2 El sistema eléctrico colombiano

En 1889 se crea en Bogotá la primera empresa eléctrica del país, *Bogotá Electric Light Co*, a la que seguirían otras en distintos puntos del país, todas creadas por empresas privadas o mixtas. Como consecuencia de esto, la energía eléctrica llegó a Colombia en 1890, siendo Bogotá la primera ciudad en contar con iluminación eléctrica y a la que seguirían Bucaramanga en 1891, Barranquilla en 1892 y finalmente Cartagena y Santa Marta en 1893. Sin embargo, a pesar de la creación de las primeras empresas eléctricas del país y de su actividad, el crecimiento del sector eléctrico durante las tres primeras décadas del siglo XX fue muy lento y concentrado [2].

En 1936 la aplicación de una reforma constitucional supondrá un importante cambio en el panorama eléctrico colombiano y marcará el inicio del desarrollo del



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

sector eléctrico y de los servicios públicos en general. Esta reforma, junto con la ley 26 de 1938 que autoriza la construcción de plantas y el suministro del servicio eléctrico, suponen el inicio de una nueva etapa en la que se impulsaron importantes proyectos de generación [2].

Una nueva reforma constitucional, en 1954, marcaría un nuevo punto de inflexión, puesto que permitiría la transformación de empresas públicas en entidades autónomas. Gracias a esto, las empresas eléctricas obtuvieron autonomía presupuestal y financiera que les permitía contratar créditos con la banca multilateral (siempre avalados por la Nación) [2].

A pesar de todo este esfuerzo, el sistema eléctrico colombiano a principios de los años 60 estaba formado por un conjunto de subsistemas aislados alrededor de las principales ciudades del país, lo cual era insuficiente puesto que amplias zonas carecían de servicio eléctrico. Esta distribución del sistema eléctrico dificultaba en gran medida el desarrollo de proyectos de grandes dimensiones, impidiendo la ampliación del suministro [2].

Finalmente, y tras diferentes presiones y recomendaciones, en 1966 las principales empresas eléctricas del país alcanzarían un acuerdo de interconexión de sus sistemas y un ensanche de la capacidad de generación. La nueva empresa se llamaría *Interconexión Eléctrica S.A. (ISA)* y sus principales accionistas serían, a partes iguales, *EEB* (Empresa de Energía de Bogotá), *EPM* (Empresas Públicas de Medellín), *CVC* (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca), *ELECTRAGUAS* y *CORELCA* (que se uniría 10 años más tarde) [2].

Gracias a esta unión, entre 1970 y 1990 se interconectó el país y se construyeron los grandes proyectos que hoy abastecen la demanda nacional. Sin embargo, todo este desarrollo de infraestructura no estuvo acompañado de una adecuada financiación que garantizara la sostenibilidad del sistema, lo que provocó que el sector eléctrico llegase a representar un 40% del endeudamiento externo del país [2].

Con el cambio de gobierno se avanzó hacia la modernización del sector eléctrico, permitiendo la participación privada, mediante la aplicación de dos leyes (142 y 143, en 1994) que definieron un nuevo marco regulativo que permitiría desarrollar un mercado competitivo. Como consecuencia de estas leyes *ISA* daría paso a dos empresas, *ISA de transmisión* e *ISAGEN* (generación) y a partir de ellas surgiría *XM* que desempeña funciones de operador eléctrico. A pesar de que estas leyes supusieron un riesgo en su momento, el resultado obtenido por el gobierno colombiano fue más que satisfactorio y esto se puede ver en los resultados positivos que muestran las empresas del sector desde hace ya muchos años [2].

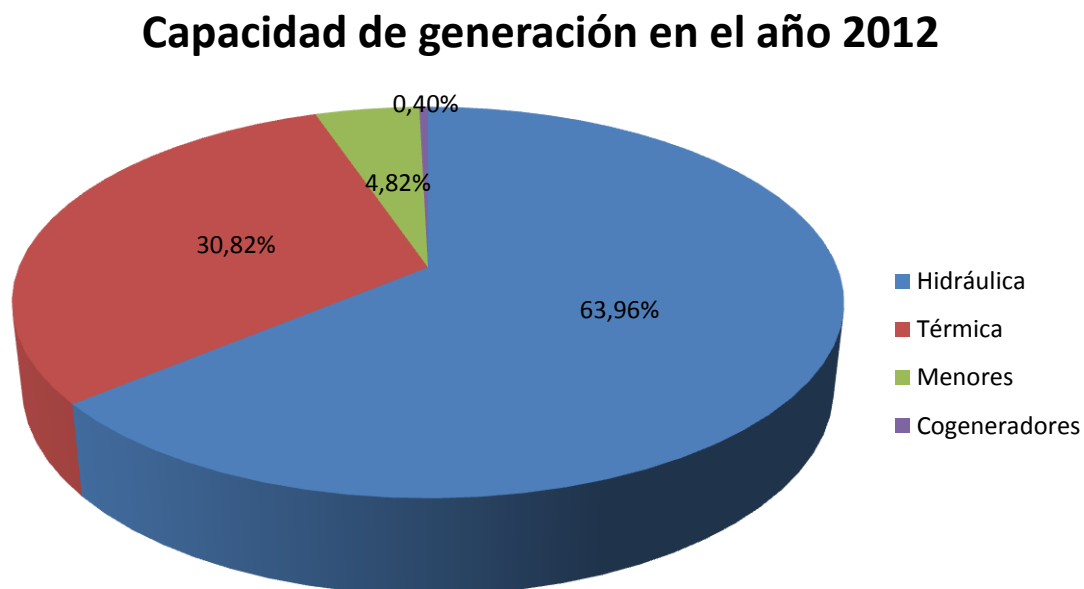
En la actualidad las principales empresas distribuidoras de electricidad son: Chec, Cedelca, Cedenar, CNS, Codensa, Ebsa, Enerca, Enertolima, ESSA, Electrocaqueta, Electricaribe, Electrohuila, Emsa, EEC, EPSA, Dispac, EDEQ, Emcali, EPM, Enerlar y Cetsa.



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

En el Mercado de Energía Mayorista (MEM) colombiano los generadores y comercializadores públicos, privados y mixtos, venden y compran energía en grandes bloques dentro de un marco regulatorio establecido por la *CREG* (Comisión de Regulación de Energía y Gas). Existe un mercado a corto plazo (Bolsa de Energía o spot) donde se realizan subastas diarias de acuerdo a la disponibilidad de energía de los generadores y un mercado de contratos a largo plazo de cara a protegerse de la volatilidad de los precios de la energía del mercado a corto plazo. Como se ha mencionado anteriormente, la empresa *XM* se encarga de la operación y administración del mercado mediante dos mecanismos: por un lado el Centro Nacional de Despacho (CND) que se encarga de la operación del Sistema Interconectado Nacional y, por otro lado, el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) que se encarga de realizar las liquidaciones de todas las transacciones del mercado, de administrar el registro de los contratos de energía a largo plazo y de las fronteras comerciales. Además el *ASIC* se encarga también de la administración de las Transacciones Internacionales de Electricidad (TIE) con Ecuador y coordina la operación interconectada con el Sistema Eléctrico Venezolano. Adicionalmente se ha creado un plan de expansión de generación denominado Cargo por Confiabilidad que se basa en remunerar la Energía Firme que los generadores pueden entregar al sistema bajo condiciones de hidrología crítica asegurando así el ingreso de nuevas plantas o unidades de generación [3].

La capacidad efectiva neta instalada al final del mes de marzo 2013 fue de 14360,7 MW pudiendo verse en la Figura 1 su distribución por tipo de recurso [4].



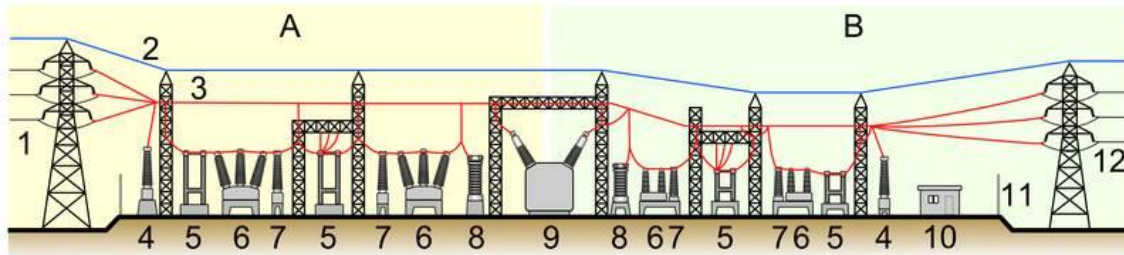
**Figura 1. Reparto de la capacidad de generación por recursos**





### 1.3 Subestaciones eléctricas convencionales

Una subestación eléctrica es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica para facilitar el transporte y distribución de la energía eléctrica. La energía eléctrica fluye a través de varias subestaciones entre las plantas de generación y el consumidor, cambiando el nivel de tensión en diversas etapas [5].



**Figura 2. Esquema de una subestación eléctrica**

- |                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Líneas Aéreas Principales  | 7. Transformadores de corriente   |
| 2. Cable de Tierra – Guarda   | 8. Autoválvulas                   |
| 3. Tendido Aéreo subestación  | 9. Transformador de Potencia      |
| 4. Transformadores de Tensión | 10. Edificio de Control           |
| 5. Seccionadores              | 11. Valla perimetral de seguridad |
| 6. Interruptores              | 12. Líneas Aéreas Secundarias     |

Las subestaciones deben distribuir electricidad a las industrias y consumidores domésticos, supervisar y proteger la red de distribución para mantenerla de forma segura y eficiente. En ocasiones, el Sistema Eléctrico requiere condiciones especiales para obtener el suministro eléctrico:

- Necesidad de suministro temporal
- Situación final no conocida o en fase de estudio
- Necesidad de rápida disponibilidad
- Necesidad de cubrir diferentes rangos de tensión en función del punto de enganche
- Necesidad de flexibilidad, instalación en diferentes ubicaciones
- Inmediata reposición del servicio en caso de avería
- Realizar el mantenimiento de equipos existentes sin pérdida de producción.



**Figura 3. Subestación eléctrica convencional**

### 1.4 Subestaciones eléctricas móviles

Para satisfacer todas las necesidades descritas en el apartado anterior se han creado las subestaciones móviles. Estas subestaciones están diseñadas para distribuir la electricidad, de forma temporal o fija, a las zonas que lo requieran, permitiendo garantizar el suministro eléctrico para su planta en un corto periodo de tiempo y adaptándose a las necesidades de conexión en el punto de enganche que se necesite. Las subestaciones móviles pueden estar en el lugar requerido en unas pocas horas, distribuir la electricidad de una manera rápida y con un mínimo de operaciones en sitio.

Algunos de los eventos o contingencias que pueden afrontar los sistemas eléctricos y que pueden provocar el uso de subestaciones móviles son:

- Suministro temporal durante periodos de ingeniería de la subestación principal, actualización o mantenimiento planificado de la misma
- Asegurar la continuidad del servicio antes sucesos como fuegos, sabotaje, apagones o eventos meteorológicos
- Suministro temporal para cargas estacionales, eventos, o el consumo adicional en vecindarios, plantas industriales o lugares remotos
- Opción de proporcionar una instalación permanente o semi-permanente, dependiendo de cada situación

Una subestación móvil consiste en uno o varios tráileres o contenedores, que contienen todo el equipamiento de alta y/o media tensión, como el transformador de potencia, celdas media tensión, interruptores (GIS, AIS o híbridos), transformadores de medida, autoválvulas, sistema de protección y control, servicios auxiliares, etc. La configuración de una subestación móvil se desarrolla en función de las necesidades y se determina con el nivel de tensión, el nivel de aislamiento de la subestación, la potencia del transformador y el número de interruptores de alta y media tensión [5].



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Existen múltiples configuraciones para una subestación móvil dependiendo de las necesidades del cliente y también de las *Leyes de Tráfico* del país por el que se vaya a desplazar la subestación. A continuación se pueden ver algunos valores típicos de subestaciones móviles que pueden ser transportadas sin permisos especiales y otras que necesitan estos permisos:

<i>Configuraciones sin necesidad de permiso especial de circulación</i>		
<b>Tipo de subestación</b>	<b>Nivel máximo de tensión</b>	<b>Otras características</b>
GIS	220 kV	Posición completa
Híbrida-AIS	145 kV – 170 kV	Posición completa, incluyendo transformador de potencia de hasta 20 MVA
Celdas de MT	36 kV	Varias posiciones, hasta 15 celdas
Transformadores potencia	145 kV	Hasta 20 MVA

**Tabla 1. Configuraciones sin necesidad de permiso especial de circulación**

<i>Configuraciones con necesidad de permiso especial de circulación</i>		
<b>Tipo de subestación</b>	<b>Nivel máximo de tensión</b>	<b>Otras características</b>
GIS	420 kV (*)	Un polo en cada tráiler (*), en estudio
Híbrida-AIS	170 kV	Posición completa, incluyendo transformador de potencia de hasta 50 MVA
Celdas de MT	60 kV	Varias posiciones, hasta 10 celdas
Transformadores potencia	170 kV	Hasta 60 MVA

**Tabla 2. Configuraciones con necesidad de permiso especial de circulación**

Por lo tanto, una subestación móvil es una solución llave en mano, diseñada a medida del cliente. Su diseño es modular, lo que permite que pueda funcionar en diferentes módulos (tráileres o contenedores) que luego serán interconectados entre si y cuya puesta en servicio requiere poco tiempo, ya que llega al destino lista para entrar en servicio. Los trabajos de mantenimiento y reparación pueden ser realizados sin tener que modificar la producción y son una solución para sustituciones temporales y emergencias, ya que puede sustituir una subestación completa en caso de fallo. Además, estas subestaciones se desplazan con gran facilidad y pueden integrar todo tipo de aparamenta incluyendo equipos de protección y control que las hace completamente autónomas.

Presentan también una serie de factores ventajosos respecto a las subestaciones eléctricas convencionales, algunas de las cuales ya se han mencionado previamente:



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- Por lo general supone un gran ahorro tanto de coste como de tiempo al no necesitar obra civil
- Obviamente su gran ventaja es la posibilidad de desplazamiento, lo que permite que sea recolocada en distintos lugares, posibilitando también usos sucesivos. Esto permite, además, que pueda ser trasladada rápidamente y estar lista para el servicio en poco tiempo
- La subestación es probada en la fábrica por lo que en el destino no necesita un gran tiempo de puesta en servicio
- Se puede adaptar a diversas configuraciones lo que le permite tener una gran flexibilidad
- Reducido o mínimo coste de desmantelamiento



**Figura 4. Subestación eléctrica móvil**

Las subestaciones móviles también son una buena solución para ciertas aplicaciones industriales. Algunas de las situaciones y condiciones que pueden llevar a empresas industriales a usar estas subestaciones pueden ser:

- Puntos de acceso cambiantes o indefinidos para el consumo de energía
- Requisitos de energía temporal y de corta duración
- Requisitos de servicio múltiple, tales como cambios en las necesidades de energía, diferentes tensiones, etc.
- Requisitos de emergencia para mantener la producción de energía en industrias manufactureras que usan gran intensidad de energía, evitando así pérdidas en la producción





### 1.5 Subestaciones GIS vs Subestaciones AIS

En la actualidad existen dos grandes tipos de subestaciones según el tipo de aislamiento de su aparamenta: la tecnología tradicional, AIS (air insulated switchgear), que utiliza aislamiento de aire y la tecnología GIS (gas insulated switchgear) que utiliza gas  $\text{SF}_6$ . A partir de ambas se ha desarrollado la tecnología híbrida que, como se verá más adelante, presenta características comunes a ambas.

La tecnología AIS es la más antigua y tradicionalmente más utilizada. En ella toda la aparamenta se encuentra aislada en aire, al igual que los cables y los embarrados. Dependiendo de la tensión nominal la aparamenta tendrá que guardar unas distancias de seguridad, y esto, unido a que cada equipo es individual y se encuentra separado del resto, hace que este tipo de subestaciones precisen de grandes extensiones de terreno para su implantación.



**Figura 5. Subestación AIS**

Motivada por los problemas de aislamiento y de cara a reducir el espacio necesario para la construcción de las subestaciones AIS aparece la tecnología GIS. En ella, tanto la aparamenta como los cables y el embarrado se encuentran encapsulados y aislados con  $\text{SF}_6$ , desapareciendo así las distancias de seguridad con la consecuente reducción de espacio que esto supone. En lugar de las distancias, en esta tecnología aparecen otros requisitos como la presión del gas, el sellado de las cámaras, etc. Las grandes ventajas de esta tecnología son sus reducidas dimensiones, su alta confiabilidad y el uso de materiales de alto rendimiento y durabilidad así como muy bajo mantenimiento.



La característica constructiva más importante de esta tecnología es que cada equipo estará encapsulado de forma independiente en un compartimento metálico lleno de gas SF<sub>6</sub> con una presión mayor que la atmosférica, denominados módulos. Para conectar estos módulos se utilizarán bridas selladas y atornilladas para formar las distintas configuraciones. Al ser compartimentos independientes estas posiciones podrán ser ampliadas y cada compartimento dispondrá de un dispositivo propio de alivio de presión independiente [6].

Esta reducción de espacio será muy importante en ciudades importantes o industrializadas donde los terrenos alcanzan precios muy elevados y se hace muy costoso construir subestaciones aisladas en aire. Así mismo supondrán una gran ventaja a la hora de aplicarse en centrales hidráulicas o terrenos accidentados o escarpados donde el espacio disponible será muy reducido.



**Figura 6. Subestación GIS**

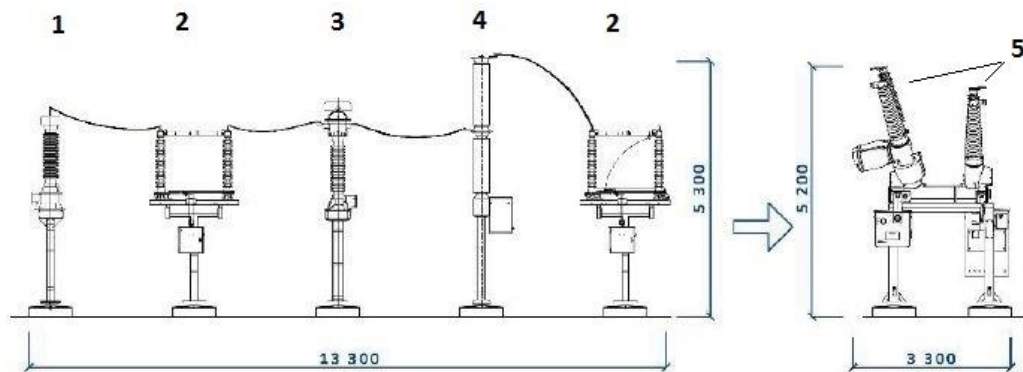
### 1.6 Subestaciones híbridas

La tecnología híbrida se crea para poder reducir espacio y costes respecto a las subestaciones tradicionales y como una solución que combina las ventajas de ambas tecnologías. Está formada por interruptores, seccionadores y seccionadores de puesta a tierra, y adicionalmente puede incorporar transformadores de tensión y corriente así como bornas. Según sus componentes tendrá una configuración u otra. Los interruptores y seccionadores son ambos elementos de corte y aislamiento con la diferencia de que los interruptores pueden maniobrar con carga (desviando o interrumpiendo el curso de la corriente eléctrica) mientras que los seccionadores no tienen capacidad de corte cuando circula corriente, debe hacerse en vacío. De esta manera el seccionador se abrirá después de abierto el interruptor y se cerrará antes de cerrar el interruptor. Los transformadores de tensión y corriente son elementos de medida que permitirán obtener los valores de tensión y corriente en cada instante y así poder controlar que todo



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

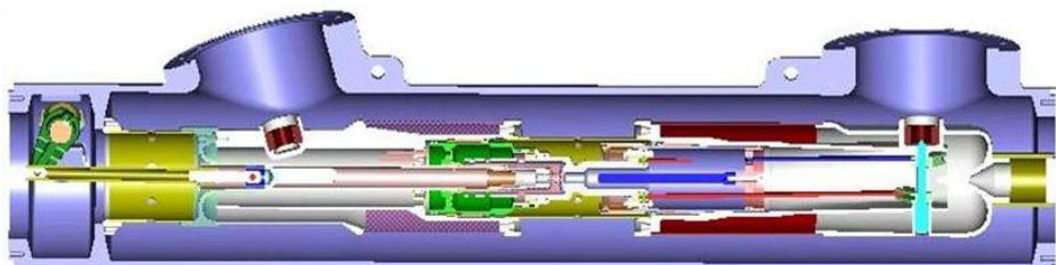
funciona correctamente y no se obtiene ningún valor anómalo. Las bornas de conexión son aéreas, es decir, de aislamiento aire. En este tipo de tecnología los interruptores y seccionadores van encapsulados en SF<sub>6</sub> lo que permite un diseño mucho más compacto y un mantenimiento mucho más sencillo. Esta reducción en espacio hace que sea muy fácil de transportar y de instalar reduciendo los costes al mínimo. Por último, debido al encapsulamiento, es muy fiable y segura ante cualquier tipo de medioambiente [7].



**Figura 7. Tecnología AIS vs tecnología híbrida**

- |                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| 1. Transformador de Tensión    | 2. Seccionadores |
| 3. Transformador de Intensidad | 4. Interruptor   |
| 5. Bornas                      |                  |

Como se puede apreciar en la figura 7, el ahorro de espacio es muy significativo siendo esto una ventaja a la hora de utilizar este módulo híbrido en aplicaciones móviles. Su elemento principal es un interruptor encapsulado monofásico de tanque muerto, que será de movimiento doble lo que reduce la energía necesaria en un 60% comparado con los interruptores tradicionales, traduciéndose esto en un incremento de la fiabilidad.



**Figura 8. Interruptor de doble movimiento**



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

A lo largo de este proyecto se hará referencia al módulo híbrido como “HYpact” puesto que es el modelo desarrollado por Alstom Grid S.A. de acuerdo a la IEC 62271-205 y es el modelo que se ha usado en este proyecto.

Cada diseño de la HYpact dependerá de las necesidades del cliente, por lo que será un producto totalmente customizado y adaptado a cada diagrama unifilar. Está formada por tres compartimentos aislados en gas SF<sub>6</sub>, donde cada uno contendrá toda la aparamenta necesaria para cada fase (interruptor y seccionador(es) con o sin puesta a tierra). En las bornas se podrán colocar transformadores de corriente toroidales alrededor de los seccionadores y en compartimentos de gas separados (a continuación del tanque de interruptor) se podrán instalar transformadores de tensión inductivos. Todo esto irá instalado en dos estructuras soporte de acero.



**Figura 9. Componentes módulo híbrido “HYpact”**

### 1.7 Transformadores de Potencia

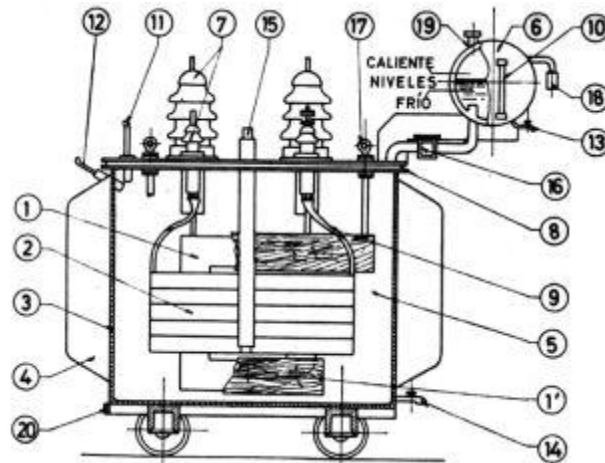
Los transformadores son máquinas eléctricas estáticas cuya misión es transmitir, mediante un campo electromagnético alterno, la energía eléctrica de un sistema con una determinada tensión, a otro sistema con la tensión deseada [8]. Por lo tanto, permiten modificar los valores de tensión y corriente adecuándolos para el transporte y distribución de la energía eléctrica. Transportando la energía eléctrica a tensiones elevadas se tendrán corrientes menores (las intensidades son inversamente proporcionales a las tensiones) circulando por el conductor, lo que supondrá una sección menor del mismo y menos pérdidas. Todo esto supone un proceso más económico y eficaz, más barato.





## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Los transformadores de potencia consisten en un núcleo construido mediante chapas de acero aleadas con silicio lo que incrementa la resistividad del material y reduce las corrientes parásitas. Este núcleo puede tener tanto sección cuadrada como circular (siendo esta última más frecuente). Alrededor de este núcleo se colocarán unos devanados conductores aislados entre sí mediante espacios de aceite o aire [9].

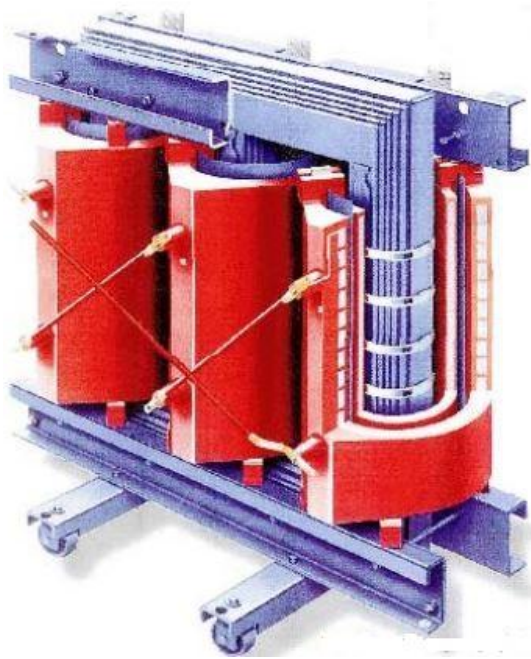


**Figura 10. Partes del Transformador de Potencia**

1. Núcleo	1'. Prensaculatas
2. Devanados	3. Cuba
4. Aletas de refrigeración	5. Aceite
6. Depósito expansión	7. Aisladores (BT y AT)
8. Junta	9. Conexiones
10. Nivel aceite	11-12. Termómetro
13-14. Grifo de vaciado	15. Cambio tensión
16. Relé Buchholz	17. Cáncamos transporte
18. Desecador aire	19. Tapón llenado
20. Puesta a tierra	

Los transformadores se pueden clasificar utilizando distintos criterios [8]. Atendiendo al medio refrigerante que requieran se clasifican en:

- Transformadores en baño de aceite: El núcleo y los devanados se encuentran inmersos en aceite mineral que actúa a la vez como refrigerante y aislante.
- Transformadores secos: El núcleo y los devanados no se encuentran inmersos en ningún tipo de líquido aislante lo que reduce la contaminación ambiental y el peligro de incendio. El calor es disipado directamente al ambiente.
- Transformadores en piraleno: El núcleo y los devanados se encuentran inmersos en otros dieléctricos más resistentes al calor como el piraleno. No sufre alteraciones en contacto con el aire pero absorbe de manera sencilla la humedad y es volátil.



**Figura 12. Transformador de Potencia Seco**



**Figura 11. Transformador de Potencia en aceite**

Atendiendo al medio ambiente para el que estén preparados se clasifican en:

- Transformadores para interior
- Transformadores para intemperie

Atendiendo a la operación que realicen con las tensiones se clasifican en:

- Transformadores elevadores: Transforman tensiones de menor valor en mayor, elevando la misma.
- Transformadores reductores: Transforman tensiones de mayor valor en menor, reduciendo la misma.

Por último, atendiendo a la refrigeración utilizada se clasifican en dos tipos:

- Transformadores con refrigeración natural: No precisan de ningún tipo de ventilador o bomba unidos al transformador para contribuir a la circulación del aceite o líquido refrigerante (ONAN: Oil Natural Air Natural).
- Transformadores con refrigeración forzada: Precisan bombas de presión o ventiladores adosados al transformador, o ambos tipos ventilación (ONAF: Oil Natural Air Force, OFAN: Oil Force Air Natural, OFAF: Oil Force Air Force).

## **1.8 Celdas de Media Tensión**

Las celdas de Media Tensión tienen la función de recibir y distribuir la energía eléctrica y están formadas por un conjunto de secciones verticales (celdas) en las cuales se ubican equipos de maniobra (interruptores de potencia extraíbles, seccionadores, etc) y de medida (transformadores de corriente y de tensión). Adicionalmente también



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

pueden incluir equipos de protección y control que irán montados en compartimentos incluidos en una estructura metálica externa [10]. La media tensión incluirá los niveles de tensión entre 1 – 66 kV.

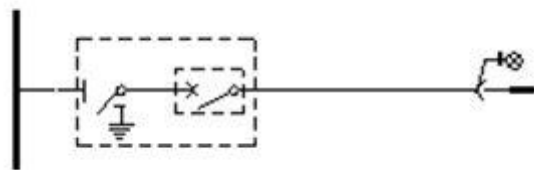
Como se ha mencionado antes, las celdas de media tensión son construidas de manera modular de forma que en un módulo tenemos los equipos de maniobra y medida, en otro los equipos de protección y control, etc. Existen dos tipos de celdas según el aislante utilizado: con aislamiento en aire y con aislamiento en hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) [11].

- Con aislamiento al aire: La característica principal de estas celdas se basa en la utilización del aire para la extinción del arco eléctrico. Antes de la aparición de las celdas de  $\text{SF}_6$  eran muy utilizadas pero con la aparición de éstas su uso ha disminuido.
- Aislamiento con  $\text{SF}_6$ : Estas celdas usan el gas  $\text{SF}_6$  para extinguir el arco eléctrico aprovechándose de sus buenas propiedades aislantes.

Las celdas con  $\text{SF}_6$  tienen menor tamaño y muy buenas propiedades dieléctricas lo que ha hecho que sean las más utilizadas en la actualidad a pesar de ser más costosas.

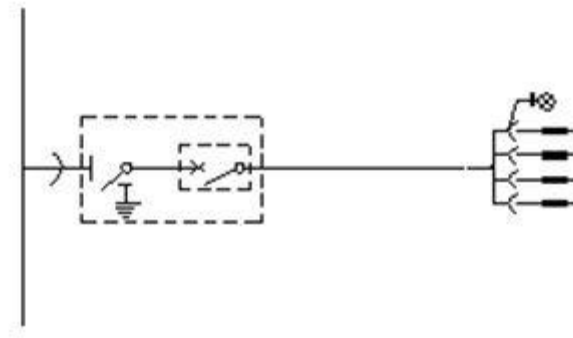
Una vez se ha diferenciado entre los dos tipos de celdas atendiendo al medio aislante es importante clasificarlas atendiendo a su función dentro del centro de transformación o distribución. El funcionamiento de cada celda será distinto según la aparamenta contenida en su interior que es lo que determinará su función. Se clasifican en [12]:

- Celda de línea: Puede ser de entrada o de salida y, dependiendo de esto, su función será recibir los cables de la acometida o dar salida a los cables hacia los centros de distribución. Suele incorporar un seccionador y un interruptor que constituyen los elementos de corte de la instalación.



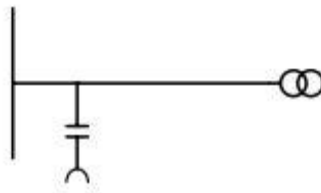
**Figura 13. Esquema unifilar referencial celda de línea**

- Celda de protección del transformador: Se ubica a continuación de la celda de entrada para proteger el transformador de potencia del resto de la instalación ante posibles problemas. Suelen estar formadas por interruptor-seccionador automático con fusibles de tal manera que los fusibles protegen frente a cortocircuitos y mediante el disparo del interruptor con relés indirectos se protege el transformador.



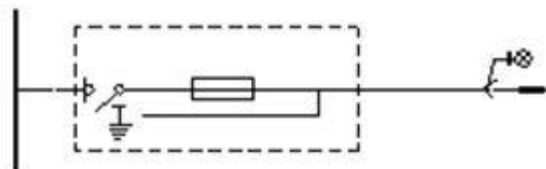
**Figura 14. Esquema unifilar referencial celda de transformador**

- Celda de medida: Debido a los altos valores de media tensión muchas veces no es posible incorporar la aparamenta de medida en las celdas de línea. Por ello, en esta celda se albergarán los transformadores de tensión y corriente y así poder reducir los valores de tensión e intensidad hasta valores aptos para los equipos de medida como puede ser un contador o medidor fiscal.



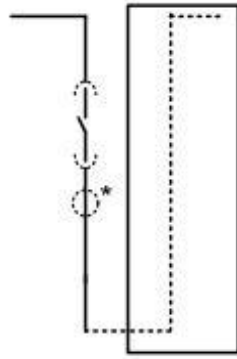
**Figura 15. Esquema unifilar referencial celda de medida**

- Celda de servicios auxiliares: Esta celda irá conectada al transformador de SSAA para proteger el mismo. Puede contener interruptor o seccionador fusible y los equipos necesarios para la protección.



**Figura 16. Esquema unifilar referencial celda de servicios auxiliares**

- Celda de remonte: Celda sin accesorios que permite subir los cables hasta el embarrado, dotándolos de una mayor protección mecánica.
- Celda de acoplamiento de barras: Permite el acoplamiento de las barras de una celda con las de otra celda.



**Figura 17. Esquema unifilar referencial celda acoplamiento y remonte de barra**

### 1.9 Pararrayos o autoválvulas

La función principal de este equipo es proteger la instalación eléctrica (transformador, interruptor, etc) contra sobretensiones tanto de origen externo (provocadas por fenómenos atmosféricos, denominadas onda de impulso tipo rayo) como interno (onda a frecuencia industrial debidas a maniobras dentro de la misma instalación) absorbiendo parte de su energía para mantener los valores de tensión dentro de los límites adecuados. Se instalarán en los puntos con mayor probabilidad de sufrir sobretensiones como las entradas y salidas de los centros de transformación intemperie, el paso de una línea aérea a subterránea o, en el caso de subestaciones móviles, en el punto de conexión de la línea con los equipos e incluso entre distintos equipos. Se pueden distinguir dos tipos: los denominados “de cuernos” y los pararrayos autovalvulares [13].

- Pararrayos “de cuernos”: Equipo consistente en dos varillas o electrodos, una conectada con la catenaria o conductor para proteger de las sobretensiones y otra conectada a tierra. Para evitar cortocircuitos algunos llevan una varilla central anti pájaros para evitar problemas con las aves. Las dos varillas están dispuestas de tal forma que en el momento en que aparece un arco como consecuencia de la evacuación de una sobretensión alargan el mismo consiguiendo que se restablezcan rápidamente las condiciones de rigidez dieléctrica. Es el método más sencillo y económico que existe, pero se han ido sustituyendo en las redes de alta tensión por los autovalvulares debido a que dejan pasar ciertas sobretensiones [13].



**Figura 18. Pararrayos "de cuernos"**



- Pararrayos autovalvulares de resistencia variable: Constan de varios explosores en serie y unas resistencias (de carburo de silicio, SiC) no lineales (varistancias) capaces de limitar la corriente después del paso de la onda de choque de la sobretensión. Se caracterizan por la tensión de extinción a frecuencia industrial más alta bajo la cual puede descebarse espontáneamente [13].



**Figura 19. Pararrayos de resistencia variable**

- Pararrayos autovalvulares de Óxido de Zinc: Están constituidos por resistencias no lineales (varistancias) de óxido de zinc (ZnO) apiladas en el interior de una columna hueca de porcelana o material polimérico, sin entrehierros. El óxido de zinc es menos lineal que el carburo de silicio, conduce cuando se tiene una tensión superior a la tensión máxima de referencia y, cuando la tensión regresa a su valor normal, cierra la conducción. Su uso ha aumentado en los últimos tiempos debido a su mayor fiabilidad.



**Figura 20. Pararrayos de Óxido de Zinc**

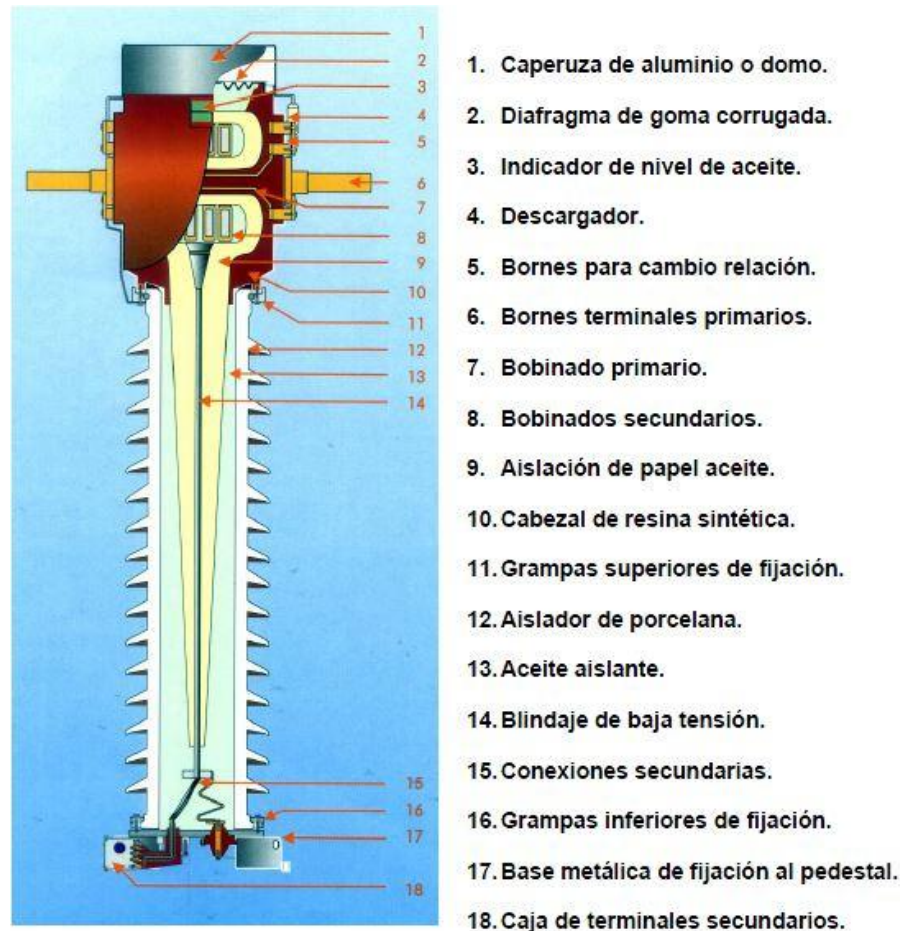




### 1.10 Transformadores de medida

De cara a ser equipos competitivos, los aparatos de medida y los relés de protección de una subestación eléctrica no están contruidos para soportar elevadas corrientes y temperaturas ya que esto supondría un aumento considerable de su precio. Además, es importante controlar la presencia de elevadas tensiones cuando los equipos van a estar cerca de las personas. Por todo esto son necesarios los transformadores de medida y protección, que permitirán llevar señales de tensión y corriente de un valor proporcional muy inferior al nominal a los equipos de medida y protección. Tenemos dos tipos de transformadores [14]:

- Transformadores de corriente o intensidad (TIs o TCs): Proporciona en una escala mucho menor en el secundario una magnitud proporcional de la corriente que pasa por el primario (generalmente 1 ó 5 A). El primario del transformador, de pocas espiras, es conectado en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir mientras que el secundario es conectado en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y protección que requieran ser energizados. Estos transformadores son capaces de: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión. Existen transformadores de corriente de interior (aislamiento en resina sintética, más económicos y para tensiones de servicio de hasta 36 kV) y de exterior que pueden ser para tensiones medias o altas. Los de media tensión utilizan aislamiento de porcelana y aceite o a base de resinas que soportan las condiciones climatológicas, mientras que los de alta tensión utilizan aislamientos a base de papel y aceite dentro de un recipiente metálico, con pasatapas de porcelana. Actualmente también se puede encontrar resinas en un aislador de porcelana o gas SF<sub>6</sub> y cubierta de porcelana. Los transformadores de corriente pueden ser de medición, de protección, mixtos o combinados. En el primer caso su función es medir la intensidad a través de la magnitud y el ángulo de fase mientras que en el segundo caso su misión es proteger el circuito para lo que se requiere una gran fidelidad de hasta un valor veinte veces la magnitud de la corriente nominal. Los mixtos son diseñados con un núcleo para medición y uno o dos más para protección mientras que los combinados albergan bajo una misma cubierta un transformador de corriente y otro de tensión. En todos los casos la precisión y fidelidad es un factor de suma importancia [14].



**Figura 21. Partes de un Transformador de Corriente**

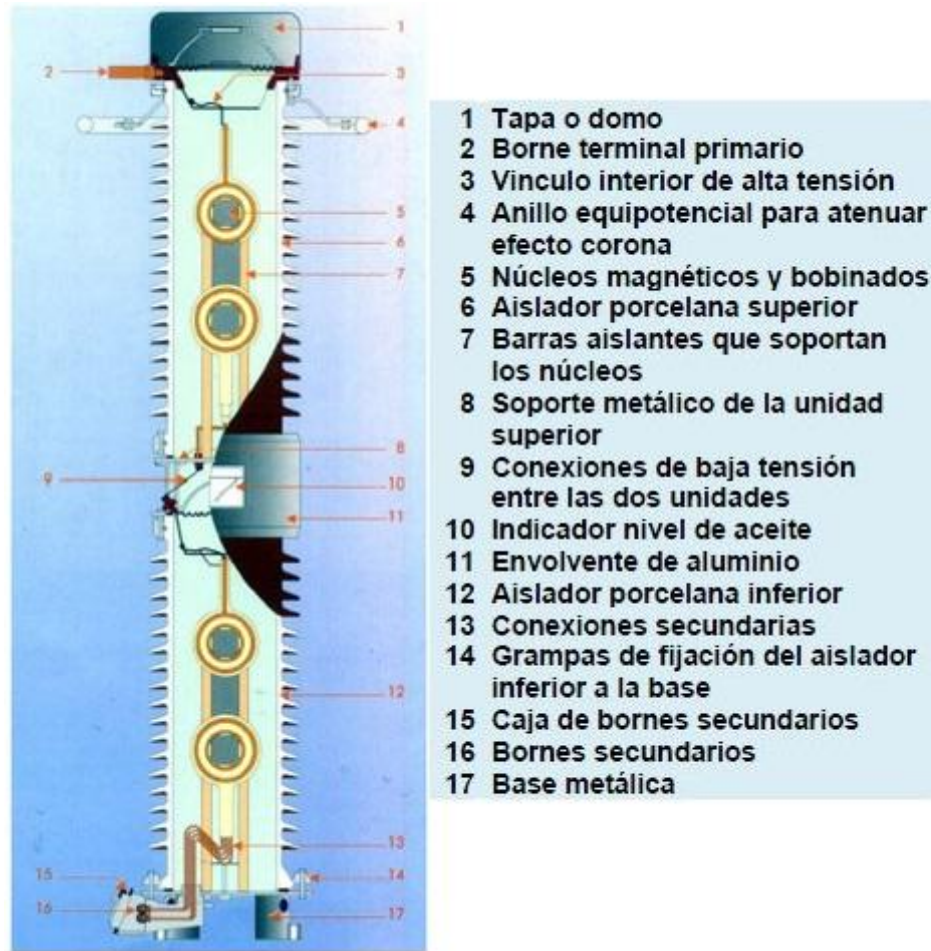
- Transformadores de tensión o potencial (TTs o TPs): Su función es alimentar aparatos de medición y/o protección con tensiones proporcionales a las de la red en el punto en el cual está conectado (los valores habituales están entre  $100/\sqrt{3}$  y  $120/\sqrt{3}$ ). El primario es conectado en paralelo con el circuito a controlar y el secundario es conectado en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección que se requiere energizar, por lo tanto tendremos terminales primarios conectados a un par de fases o a una fase y tierra, y terminales secundarios a los cuales se conectarán los aparatos. Los transformadores de tensión realizan las dos mismas tareas que los de corriente: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión. Al igual que los de corriente se fabrican para servicio exterior e interior y con los mismos aislamientos. Dentro de los transformadores de tensión se pueden clasificar en inductivos y capacitivos. Los inductivos se caracterizan por tener dos arrollamientos, uno primario y otro secundario, sobre un núcleo magnético común de tal manera que se induce una tensión en bornes del arrollamiento secundario a partir de un campo magnético variable generado en el arrollamiento primario. Los capacitivos, normalmente son utilizados para trabajar con tensiones nominales elevadas. Se caracterizan por tener un divisor de tensión capacitivo formado por





## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

varios condensadores conectados en serie, contenidos dentro de aisladores huecos de porcelana para obtener una tensión intermedia, donde se conectará una inductancia para compensar la reactancia capacitiva del divisor [14].



**Figura 22. Partes de un Transformador de Tensión**

### 1.11 Relés de Protección

Los relés de protección tienen la función de desconectar cualquier equipo o parte del sistema que comienza a operar de manera anormal lo más rápido posible y, a la vez, deben limitar el daño producido al resto de los equipos por esta anomalía manteniendo la integridad y estabilidad del sistema de potencia. Los relés actuarán a través de los interruptores de manera que estos serán los elementos de corte a los que el relé dará la orden de actuar. Por lo tanto, los relés de protección deben ser capaces de aportar a un sistema disponibilidad, confiabilidad y estabilidad. Un sistema de protección deberá tener las siguientes características para garantizar la realización de sus funciones [15]:

- Sensibilidad ante pequeñas variaciones o anomalías.
- Selectividad para determinar qué anomalía se produce en cada momento y a qué equipos afecta.
- Rapidez para minimizar los daños producidos por la anomalía.



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- Confiabilidad, es decir, la probabilidad de cumplir la función encargada sin fallar durante un período de tiempo.

Las protecciones usadas para los equipos eléctricos son [15]:

- Relé de sobre corriente: Constituyen el sistema más simple y barato para proteger equipos eléctricos. Actúan cuando la corriente que circula supera la intensidad nominal y necesitan reajustarse según las condiciones del sistema de potencia. Tiene tres formas de funcionamiento: instantáneo (activándose en el momento que detecta la falta) cuya función en el código ANSI es la 50, temporizado (activa un mecanismo de tiempo al detectar la falta) con función 51 en el código ANSI y direccional instantáneo y/o temporizado (detecta la falta si se produce en una dirección determinada) con función 67 en el código ANSI. Si estas funciones llevan una N a continuación del número se refiere a neutro y actuará antes faltas monofásicas.
- Relé diferencial: Detecta las corrientes en dos extremos de un equipo eléctrico a través de transformadores de intensidad y compara los valores obtenidos activándose cuando detecta una diferencia entre ellos. Si en lugar de comparar dos intensidades de una misma línea compara dos líneas paralelas se denomina relé diferencial transversal. Este tipo de relé puede ser de líneas, barras y transformadores.
- Relé de distancia: Es el sistema de protección más generalizado en líneas de media y alta tensión debido a la necesidad de despejar las faltas rápidamente en el caso de elevadas corrientes de falta. Se basan en la medida de la impedancia de la línea de manera que, si hay una falta, la medida de la impedancia será menor que la de carga y el relé actuará. Por lo tanto son más utilizados que los de sobre corriente ya que permiten una mayor zona de operación, una mayor sensibilidad, mayor facilidad de ajuste y coordinación e indiferencia ante los cambios de configuración del sistema de potencia.
- Relé de distancia con comunicación: Se utilizan para lograr disparos instantáneos en ambos extremos de la línea habilitando esquemas de teleprotección. Estos esquemas interconectan los relés de distancia para poder identificar si la falta se produce dentro de la zona protegida y así operar inmediatamente sobre faltas producidas a lo largo de toda la línea. La comunicación sirve para transmitir información sobre las condiciones del sistema desde un extremo hacia el otro y los medios más utilizados son: onda portadora (carrier), microonda y fibra óptica. Dentro de los esquemas de comunicación se diferencia entre esquemas de transferencia de disparo, donde la recepción de una señal inicia un disparo al interruptor, y esquemas de bloqueo, donde la recepción de una señal bloquea el disparo al interruptor.
- Relé de protección de fallo de interruptor: Esta función viene definida por el número 50BF en el código ANSI. Esta protección tiene la misión de comprobar el interruptor cada poco tiempo en caso de apertura del mismo para evitar que se produzcan fallos al disparar, al abrir, al cerrar o fallos con carga baja o de



intensidad de neutro. El ejemplo más típico se produce cuando un pájaro se sitúa sobre una línea de forma que producirá una variación en la corriente y se abre el interruptor. Esta función al cabo de pocos segundos volverá a comprobar si sigue habiendo una falta, en caso contrario cerrará el interruptor evitando la interrupción del servicio.

### **1.12 Equipos de Servicios Auxiliares**

En toda subestación eléctrica es necesaria y fundamental la existencia de unos sistemas auxiliares, complementarios a los servicios primarios, que permiten garantizar la calidad y continuidad del suministro. Los equipos de servicios auxiliares están formados por fuentes de alimentación de corriente continua y corriente alterna que alimentan a baja tensión los sistemas de protección y control, de señalización, alumbrado, alarmas y sistema contra incendio de una subestación, los motores de accionamiento de interruptores y seccionadores, los sistemas de calefacción/refrigeración de los equipos y armarios... La corriente continua es suministrada por un conjunto rectificador-batería mientras que la corriente alterna es suministrada por un transformador de baja potencia o por un grupo electrógeno [16].

#### **1.12.1 Transformador de Servicios Auxiliares**

El transformador de servicios auxiliares, como se ha dicho anteriormente, tiene la misión de proporcionar corriente alterna. Su devanado primario se conecta a la celda de servicios auxiliares de tal manera que transforme la energía recibida y alimente desde su devanado secundario en baja tensión a los servicios auxiliares de la subestación.

#### **1.12.2 Rectificador-Batería**

En las subestaciones es necesario disponer de un suministro de corriente continua, debido a que lo más habitual es que los dispositivos de control, protección y comunicaciones se alimenten en corriente continua (125 Vcc, 48 Vcc, 24 Vcc, etc). Esto está también motivado porque se permite un almacenamiento de energía en baterías, de manera que ante un fallo de suministro de alta tensión en corriente alterna, se disponga de energía para que los sistemas de protección puedan actuar. El rectificador será el elemento encargado de proporcionar la corriente continua y de cargar la batería de forma que esta siempre esté cargada cuando se necesite. Por lo tanto, se proporcionará corriente continua, tanto para trabajo como para respaldo, a la subestación para poder realizar maniobras de la aparamenta principal. Su diseño es muy importante ya que se debe seleccionar la autonomía y capacidad adecuada según la capacidad de respuesta del personal de la subestación, en caso de una avería, de forma que no peligre la continuidad del servicio. Existen dos tipos principales de baterías: de plomo (ácidas) y de níquel-cadmio (alcalinas). Antiguamente la mayoría de las baterías que se instalaban eran las de plomo por ser más baratas, tener una larga vida útil y por permitir conocer el estado de la carga almacenada en función de la densidad del electrolito. Sin embargo, hoy en día predomina el uso de las baterías de níquel-cadmio ya que, a pesar de ser un poco más caras, requieren menor mantenimiento admitiendo descargas más profundas,



tienen una mayor vida útil y, además, no liberan hidrógeno durante la carga lo que permite que sean instaladas en cuartos cerrados sin necesidad de ventear los posibles gases de expulsión [17]. En subestaciones convencionales es habitual que existan dos o más juegos de baterías, de manera que haya redundancia.

### **1.12.3 Bastidor de distribución de servicios auxiliares (AC/DC)**

Los servicios auxiliares tanto en corriente continua como en corriente alterna estarán separados en diferentes bucles o circuitos (bucles de tensiones, polaridades de protección y de maniobra). Cada uno de estos bucles estará dotado de un elemento de protección (magnetotérmico y/o diferencial), de manera que haya una distribución de energía tanto en a.c. (en España habitualmente 230 Vac ó 400 Vac) como en c.c. (en España habitualmente 125 Vcc y otros valores por debajo) Toda esta distribución se podrá alojar en bastidores separados, uno de corriente alterna y otro de corriente continua, o bien ambas distribuciones en un solo bastidor con un juego de barras de alterna del que cuelguen sus magnetotérmicos, y otro de corriente continua con los suyos. El bastidor tendrá un panel donde se reunirán los circuitos necesarios para todos los sistemas auxiliares de la subestación, tanto de los equipos eléctricos como de las instalaciones auxiliares de la subestación (iluminación, alarmas, calefacción, aire acondicionado). Por lo tanto este panel contendrá todas las señales necesarias para controlar los equipos auxiliares y su correcto funcionamiento.



# 2

# Memoria

---



## 2 Memoria

### 2.1 Objetivo y antecedentes

La elaboración del presente proyecto tiene por objeto la construcción de una nueva Subestación Eléctrica Móvil de cara a mejorar la continuidad del suministro del sistema eléctrico colombiano durante emergencias o trabajos de reparación del mismo.

La adquisición de esta nueva subestación móvil por parte del cliente se enmarca dentro de la tendencia de estos últimos años y la que se prevé en el futuro cercano, según la cual las empresas eléctricas están tratando de mejorar su infraestructura para hacer frente a la creciente demanda y para proporcionar un servicio de calidad, con las menores paradas posibles.

Para la elaboración de este proyecto se parte de un Pliego Técnico del cliente a partir de donde se elegirá la configuración y equipos adecuados.

### 2.2 Titular, plazo de ejecución y lugar de entrega

El titular de la presente instalación es *Galectric S.A.* con domicilio social en Bucaramanga, Colombia.

La subestación móvil será entregada en condiciones DAP (Delivery at Place), según Incoterms 2010, en el Puerto de Cartagena De Indias en un plazo de 10 meses a partir de la reunión de lanzamiento del proyecto.

Bajo estas condiciones de “entrega en lugar convenido” el vendedor entrega la mercancía una vez puesta a disposición del comprador en el lugar convenido, antes de descargarla. Por ello es importante que el vendedor realice un contrato de transporte que se adapte a estos términos, ya que si incurre en costes para la descarga de mercancías en el destino no podrá trasladarlos al comprador a no ser que las partes pacten lo contrario. El vendedor deberá poner la subestación a disposición del comprador lista para ser descargada en el lugar convenido. Además, deberá obtener las licencias necesarias de exportación así como llevar a cabo los trámites aduaneros necesarios para la exportación de la subestación y para su tránsito por cualquier país para llegar a destino. Por otro lado, el comprador deberá obtener las licencias o autorizaciones necesarias para la importación de la subestación y deberá soportar los riesgos y gastos desde el momento en que haya sido entregada.

### 2.3 Reglamentos y disposiciones oficiales

La subestación móvil objeto de este proyecto cumple las normas CEI (Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional) donde es aplicable, así como las normas propias del cliente.

Para la elaboración del proyecto se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- *Resolución 004100* del 28-12-2004, Ministerio de Transporte, República de Colombia
- La normativa que regula el uso del hexafluoruro de azufre, SF<sub>6</sub>, tanto para el gas nuevo, IEC 60376, como para el gas usado, IEC 60480. Además se tendrá que tener en cuenta la Directiva Europea 97/23/EC [18] que regula el transporte de este gas y según la cual la presión del SF<sub>6</sub> durante el traslado de equipos que lo contengan deberá ser inferior a 0,5 bar.
- Las normas IEC relacionadas con cada equipo que irán especificadas en la descripción técnica de los mismos.

### 2.4 Descripción de la subestación

#### 2.4.1 Condiciones ambientales

Todos los equipos que conforman la subestación serán de uso exterior y deberán estar preparados para soportar las siguientes condiciones ambientales:

- Altura [msnm]:  $\leq 1000$  m
- Temperatura máxima (promedio anual): 38 °C
- Humedad relativa máxima (promedio anual): 90 %
- Riesgo sísmico: Intermedio

La verificación del cumplimiento y de la cualificación sísmica de los equipos y de todas sus partes componentes se hará de acuerdo a la norma IEEE 693-1997 “Recommended Practice for Seismic Design of Substations”.

#### 2.4.2 Características básicas del diseño

##### 2.4.2.1 Lado de Alta Tensión

- Tensión nominal de operación: 110 kV
- Tensión máxima de diseño: 145 kV
- Tensión de aislamiento: 550 kV
- Intensidad nominal: 2500 A
- Intensidad de cortocircuito: 40 kA, 3 s



### 2.4.2.2 Frecuencia

- Frecuencia: 60 Hz

### 2.4.2.3 Lado de Media Tensión

- Tensión nominal de operación: 13,8 kV
- Tensión máxima de diseño: 17,5 kV
- Tensión de aislamiento: 95 kV
- Intensidad del embarrado: 1600 A
- Intensidad de los interruptores (trafo/ línea/SSAA):1600/630/630 A
- Intensidad de cortocircuito: 25 kA, 1 s

### 2.4.3 Equipos

La SE Móvil 20 MVA, 110/13,8 kV estará compuesta por tres tráileres o semirremolques que contendrán todos los equipos necesarios para el funcionamiento de la subestación.

- Semirremolque 1 (Aparamenta Alta Tensión)
  1. Góndola (vehículo soporte)
  2. Pararrayos 110 kV
  3. Transformadores de tensión 110 kV
  4. Módulo híbrido “Hypact” 145 kV
  5. Plataforma giratoria
  6. Equipo de tratamiento de SF<sub>6</sub>
- Semirremolque 2 (Transformador de potencia)
  1. Góndola (vehículo soporte)
  2. Pararrayos 110 kV
  3. Transformador de potencia 15 MVA, 110/13,8 kV
- Semirremolque 3 (Aparamenta Media Tensión)
  1. Góndola (vehículo soporte)
  2. Carrozado
  3. Cabinas de media tensión 13,8 kV
  4. Panel de distribución





5. Equipo rectificador/baterías
6. Equipo de Protección & Control
7. Transformador de Servicios Auxiliares
8. Cable de media tensión

### 2.5 Dimensiones máximas de transporte

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las dimensiones y los pesos de los tráileres deberán cumplir la *Resolución 004100* del 28-12-2004 del Ministerio de Transporte de la República de Colombia. Como cada tráiler es distinto cada uno tendrá sus propias restricciones y éstas serán:

	Semirremolque 1	Semirremolque 2	Semirremolque 3
Nº ejes	1	4	2
Largo (mm)	18.500	18.500	18.500
Ancho (mm)	2.600	2.600	2.600
Alto (mm)	4.400	4.400	4.400
Peso (kg)	27.000	52.000	32.000

Tabla 3. Dimensiones y pesos máximas de los vehículos

*Nota: Todos los pesos y medidas son aplicados a la estructura completa, es decir, cabeza tractora más el semirremolque con los equipos.*

### 2.6 Especificaciones Técnicas

#### 2.6.1 Semirremolque 1

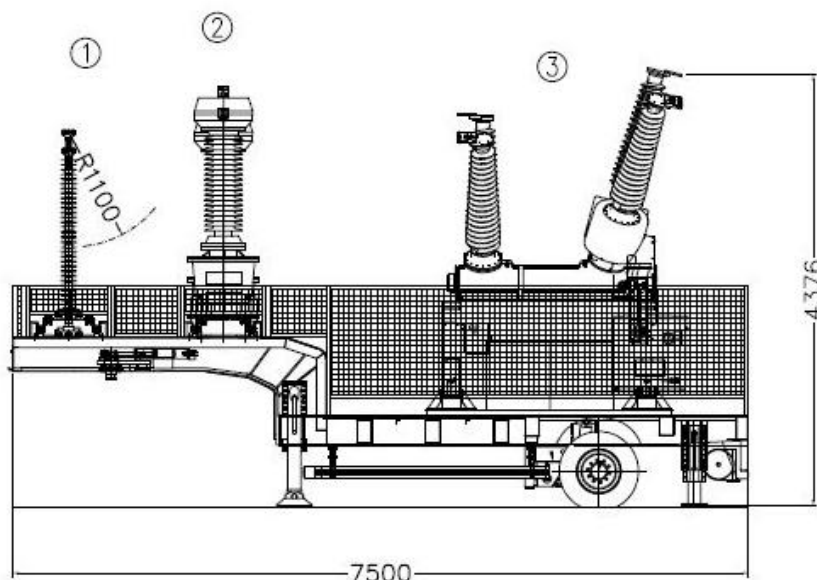


Figura 23. Semirremolque 1

1. Pararrayos 110 kV
2. Transformador de Tensión 110 kV
3. Módulo Híbrido "HYpact" 145 kV



### 2.6.1.1 Góndola

Los equipos de alta tensión estarán alojados sobre un semirremolque (plataforma) de cuello de cisne rígido, con un eje de 15", especialmente diseñado para la instalación de subestaciones móviles y tendrá las siguientes características:

Capacidad de carga PTMA a 70 Km/h.....	18 Tm
Reparto de cargas: .....	9 Tm. x eje + 9 Tm. en 5ª rueda
Tara aprox.: .....	5 Tm
Longitud del semirremolque: .....	7.500 mm
Longitud cama baja: .....	4.000 mm
Anchura del cuello: .....	2.550 mm
Anchura total de la cama baja: .....	2.550 mm
Altura cama baja (con carga).....	905 mm
Tipo de suspensión.....	Mecánica (ballestas)

### 2.6.1.2 Pararrayos 110 kV

De cara a proteger los equipos y aparamenta importante frente a sobretensiones procedentes de fenómenos atmosféricos o de maniobras, en la parte delantera del semirremolque (como se puede apreciar en la Figura 23), sobre el cuello, irán instalados tres pararrayos para el nivel de tensión de 110 kV. Irán conectados a la línea por un lado y a los transformadores de tensión por el otro mediante conductor desnudo aéreo. Los pararrayos cumplirán con la norma IEC 60099-4. Estos pararrayos tendrán las siguientes características técnicas principales:

- Tipo: Oxido metálico, polimérico, uso exterior
- Norma: IEC 60099-4
- Clase IEC línea de descarga: Clase 3
- Frecuencia: 60 Hz
- Tensión Nominal: 96 kV rms
- Tensión de operación continua  $U_c$ : 77 kV rms
- Tensión máxima del material: 145 kV rms
- Prueba de tensión de onda de impulso 1.2/50  $\mu$ s: 750 kV peak
- Intensidad de descarga nominal ( $I_n$  en kA con impulso de 8/20): 10 kA



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- Características físicas de la envolvente: Silicona (diámetro envolvente = 150 mm)
- Distancia de fuga nominal: 3,010 mm (31,4 mm / kV of Ur)
- Resistencia mecánica (cantilever): 1.3 kN\*m
- Contador de descargas: AREVA, Type MDC-3 (uno por pararrayos)



**Figura 24. Pararrayos 110 kV**

### 2.6.1.3 Transformadores de tensión 110 kV

Se instalarán tres transformadores de tensión inductivos de 110 kV, que se usarán para medida de la tensión y protección de los principales equipos de la subestación. Los transformadores de tensión reducirán la tensión a un nivel adecuado para llevarla a estos equipos de medida y protección. Su característica será de intemperie y tendrán los siguientes aspectos técnicos:

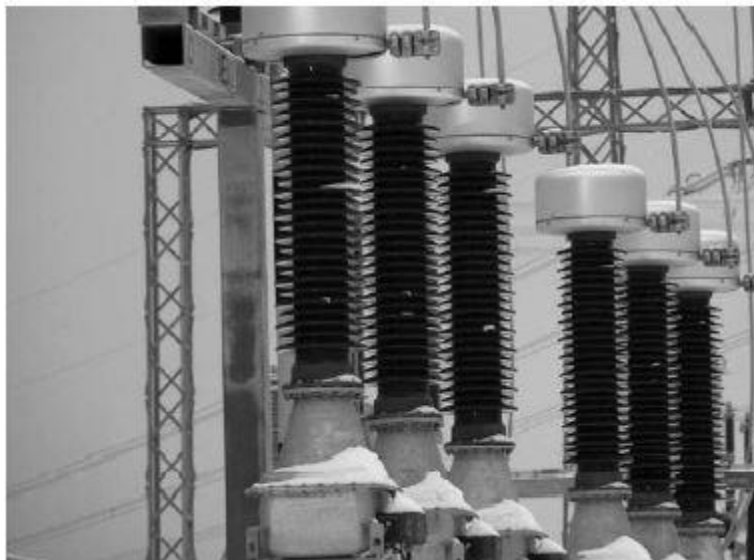
- Tipo: UTE-145
- Normativa aplicada: IEC/CEI 60044-2 :2003
- Material de aislamiento: Porcelana marrón
- Tensión Nominal del sistema: 110 kV
- Tensión de aislamiento del equipo: 145 kV
- Frecuencia: 60 Hz
- Tensión de ensayo a frecuencia industrial, primario: 275 kV
- Tensión de impulse rayo: 650 kV



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- Tensión de ensayo a frecuencia industrial, secundario: 3 kV
- Relación de Transformación: 110000:V3/ 100:V3 - 100:V3 -V
- Altitud de operación: <1000 m
- Factor de tensión: 1.5 Un / 30s
- Distancia de fuga: 25 mm/kV
- Potencia de calentamiento: 800
- Detalles de los secundarios: 15 VA Cl 0,2 (Medida)

15 VA Cl 3P (Protección)



**Figura 25. Transformador de tensión**

### **2.6.1.4 Módulo híbrido “HYpact” 145 kV**

Con el fin de reducir las dimensiones del semitrailer 1, haciendo la aparamenta de Alta Tensión mucho más compacta, se unificarán todos los elementos (interruptor, seccionadores de línea y tierra y transformadores de corriente) en un solo equipo híbrido Aire-SF6, llamado Hypact (de Alstom Grid S.A.). Las características técnicas de este equipo se indican a continuación:



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

<b>Ensamblaje</b>	Para uso Externo
<b>Tensión nominal</b>	145 kV
<b>Corriente nominal</b>	2500 A
<b>Corriente de cortocircuito</b>	40 kA , 3s
<b>Numero de mecanismos</b>	1 (F1, 3-polos auto-recierre)
<b>Frecuencia Nominal</b>	60 Hz
<b>Tiempo total de interrupción</b>	50 ms
<b>Temperatura ambiente mínima</b>	-30 °C
<b>Temperatura ambiente máxima</b>	42 °C
<b>Altitud sobre el nivel del mar</b>	Hasta 1000 msnm
<b>Clase de protección</b>	IP 55
<b>Línea de fuga</b>	4495 mm
<b>Transformador de corriente</b>	En resina epóxica sobre lado 456
<b>Polaridad (P1-P2) 456</b>	P1 en la parte baja
<b>Icth 456</b>	120 %
<b>Corriente nominal CT456</b>	300 A
<b>Secundario 1</b>	PROTECCIÓN, 150-300/5, 10P20, 15 VA
<b>Secundario 2</b>	PROTECCIÓN, 150-300/5, 10P20, 15 VA
<b>Secundario 3</b>	MEDIDA, 150-300/5, CI 0.2, 10 VA
<b>Nivel de Tensión de control</b>	110 Vdc
<b>Nivel de Tensión de motor</b>	110 Vdc
<b>Tensión de calentador e iluminación</b>	230 Vac
<b>Bobinas de apertura</b>	2 independientes
<b>Bobinas de cierre</b>	1
<b>Rango de operación de bobinas de apertura</b>	70-110%
<b>Rango de operación de bobinas de cierre</b>	85-110% con cierre mecánico
<b>Calentador anti-condensación</b>	Operación permanente
<b>Supervisión de SF6</b>	Control de densidad de SF6 de dos contactos (1 alarma, 1 bloqueo). Monitor visible de densidad de SF6 termo-compensado.
<b>Protección anticorrosión</b>	Partes de acero galvanizadas en caliente. No requiere pintura.

**Tabla 4. Características HYpact**



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

El diagrama unifilar del módulo híbrido es el siguiente:

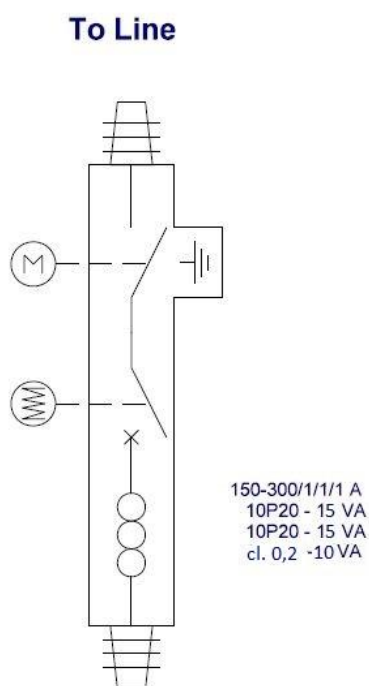


Figura 26. Diagrama unifilar "Hypact"

Las dimensiones aproximadas serían:

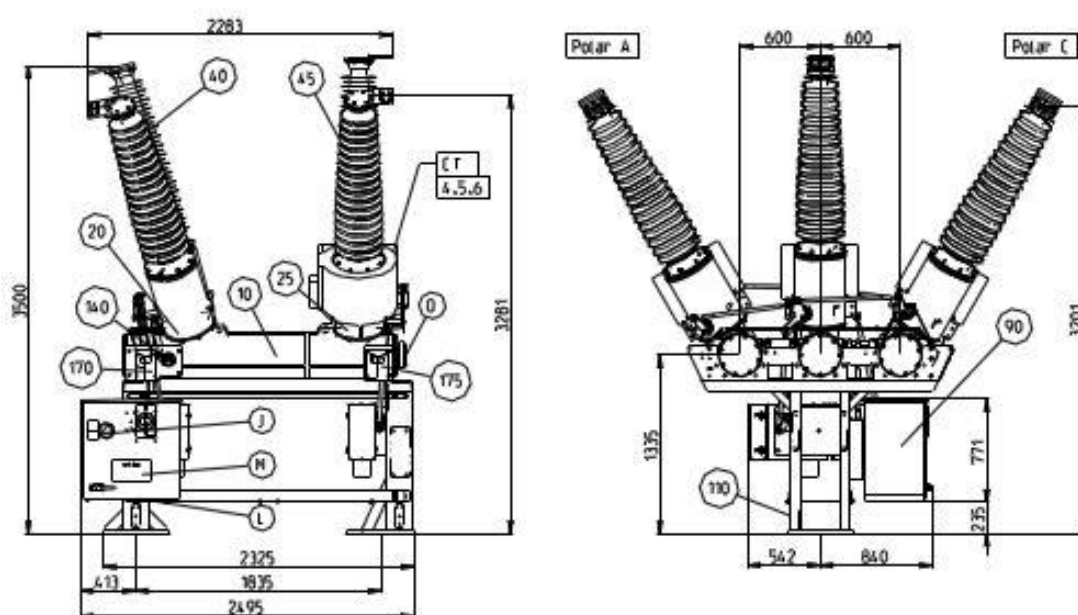


Figura 27. Dimensiones de la "Hypact"



### 2.6.1.5 Plataforma giratoria

Debido a las dimensiones generales de la aparamenta de Alta Tensión, y con el fin de no obstaculizar el desplazamiento del semitrailer 1, será necesario el uso de una plataforma giratoria sobre la cual se situará la Hypact, con el fin de realizar un giro de 90° con respecto a la posición normal de operación ya que la anchura de la hypact es mayor que la del perímetro de la góndola, con lo cual no podría circular. De esta manera cumplirá con el requisito de 2.600 mm durante el transporte y en el momento de uso solo requerirá de una sencilla acción para girarla.

### 2.6.1.6 Equipo de tratamiento de SF<sub>6</sub>

Debido a las características del gas hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) que contiene las cámaras de interruptores del Hypact, la presión a la cual se encuentra este gas en servicio (nominal de 0,64 MPa), hacen inviable el transporte de los mismos sin un trabajo de vaciado parcial de los mismos, ya que la presión de transporte marcada por Directiva Europea 97/23/EC ha de ser inferior a 0,5 bar aproximadamente.

Por tanto, se hace necesario disponer de un equipo para vaciar de SF<sub>6</sub> dichos compartimentos de la Hypact antes de transportar el semitrailer. No es necesario, sin embargo, para el llenado, ya que éste se puede hacer con la presión nominal de la botella. Para ello se utilizará un equipo para el tratamiento de SF<sub>6</sub> de DILO que se ubicará en las partes libres del Semirremolque 1 durante el transporte.



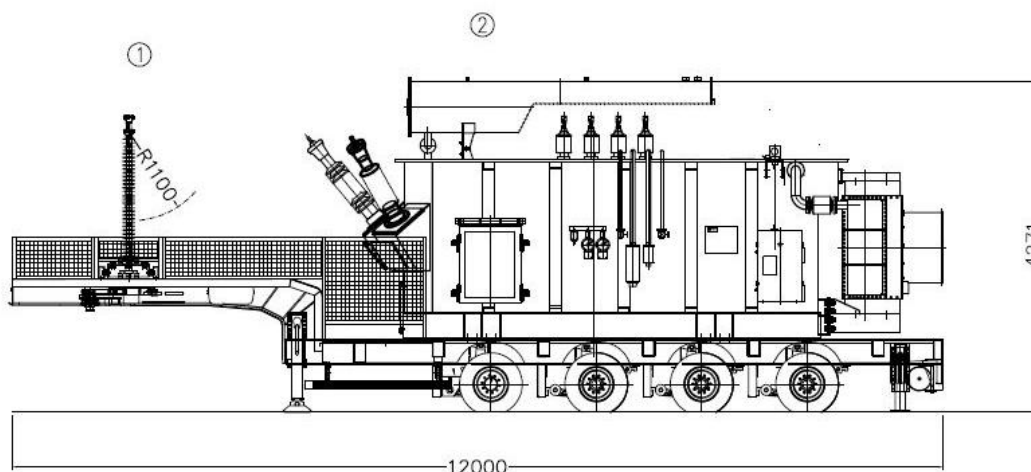
**Figura 28. Equipo para el tratamiento de SF<sub>6</sub>**





*Nota: De cara a cumplir con las distancias mínimas de seguridad entre la aparamenta de alta tensión, los pararrayos y los transformadores de tensión irán situados sobre unas guías extraíbles de forma que durante la operación salgan hacia el exterior hasta cumplir los 1100 mm necesarios. Así mismo se instalará una valla perimetral alrededor del semirremolque. Esto se puede observar en los planos de la subestación, en el anexo 1.*

### 2.6.2 Semirremolque 2



**Figura 29. Semirremolque 2**

1. Pararrayos 110 kV
2. Transformador de Potencia 110/34,5-13,8 kV

#### 2.6.2.1 Góndola

Este semirremolque incorporará un juego de autoválvulas en el cuello del semirremolque y el transformador de potencia en la cama baja y, al igual que el semirremolque anterior, estará especialmente diseñado para la instalación de subestaciones móviles. Se trata de un semirremolque (plataforma) de cuello de cisne rígido con cuatro ejes de 15" y las siguientes características:

Capacidad de carga PTMA a 70 Km/h.....	50 Tm
Reparto de cargas: .....	11 Tm. x eje + 12 Tm. en 5ª rueda
Tara aprox.: .....	8 Tm
Longitud del semirremolque: .....	12.000 mm
Longitud cama baja: .....	8.000 mm
Anchura del cuello: .....	2.550 mm
Anchura total de la cama baja: .....	2.550 mm





Altura cama baja (con carga).....970 mm

Tipo de suspensión.....Mecánica (ballestas)

### 2.6.2.2 Pararrayos 110 kV

Este semitrailer, al igual que el anterior, incorporará en el cuello del semirremolque un juego de pararrayos de 110 kV de cara a proteger los equipos y aparataje importante frente a sobretensiones procedentes de fenómenos atmosféricos o de maniobras. Irán conectados al módulo híbrido “Hypact” por un lado y al transformador de potencia por el otro mediante cable aéreo. Los pararrayos cumplirán con la norma IEC 60099-4. Las características técnicas son las mismas que las descritas en el apartado 2.6.1.2.

### 2.6.2.3 Transformador de Potencia

Deberá ser conectado en el sitio de operación mediante conductor desnudo a la línea de 110 kV y mediante cable aislado a los equipos de 13,8 kV.

Las características detalladas del transformador ofertado se indican a continuación:

#### Características técnicas

Normativa de diseño	IEC 60076
Potencia nominal	15 MVA
Tipo	Aislamiento de aceite
Tensiones nominales normalizadas	
Devanado primario, AT	123 kV
Devanado secundario, MT I	17,5 kV
Tensiones operación	
Devanado primario, AT	110 kV
Devanado secundario, MT I	13,8 kV
Operación normal	Exterior
Altitud de la instalación	<1000m
Enfriamiento	OFAF
Numero de fases	3 fases
Frecuencia	60Hz
Presión sonora	70db



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Tipo de Aceite dieléctrico	Inhibido
Normativa Aceite	IEC 60296

### Características técnicas garantizadas

Relación de transformación	110/13,8kV
Potencias	15/15 MVA
Perdidas en vacío a tensión nominal	20 kW
Perdidas bajo carga a 75°C, frecuencia nominal	150 kW (a potencia nominal OFAF)
Impedancia de corto circuito 75°C, 60 Hz relación 110//13,8 kV en la toma principal:	

AT I/MTII	19%
-----------	-----

### Valores nominales

	Tensión (kV)	Tensión Mayor (kV)	Grupo de Conexión	Numero de bornas
Primario 1	110	123	ESTRELLA	4
Secundario 2	13,8	17,5	ESTRELLA	4

**Tabla 5. Configuración del Transformador de potencia**

Grupo Vectorial	YN0yn0
<u>Ajuste de devanados</u>	
Operación con cambiador de tomas bajo carga	Lado AT
Tipo	Bajo carga
Numero de posiciones	17
Número de pasos	17
<u>Aumento de Temperatura</u>	
Temperatura Aceite/Cobre	65/65 °C
Temperatura ambiente máxima	40 °C
<u>Pesos aproximados</u>	
Listo para Transporte	33.000 Kg



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Dimensiones generales aproximadas

(Longitud x Ancho x Altura): 7.500 x 2.550 x 3.300 mm

### Bornas 13,8 kV

En el caso de utilizar solamente la aparamenta de Alta Tensión y no tener en el sitio de la implantación el Semitrailer 3, es necesario incluir transformadores de corriente (TIs) en las bornas de 13,8 kV del trafo de potencia para medir la corriente de paso por dichas bornas y mandar su lectura a los relés de protección. Las características de los TIs propuestos son las siguientes:

Relaciones	800-1200/5-5-5
	cl 0.5 10 VA
	cl 10P20 15 VA
	cl 10P20 15 VA

En la salida de media tensión incorporará un juego de pararrayos extraíbles de forma que se colocarán para operación pero que se recogerán para el modo transporte y así cumplir con las dimensiones de altura. Al igual que en el caso anterior serán de óxido metálico y cumplirán con la norma IEC 60099-4 pero serán aptos para 13,8 kV.



**Figura 30. Transformador de Potencia**



### 2.6.3 Semirremolque 3

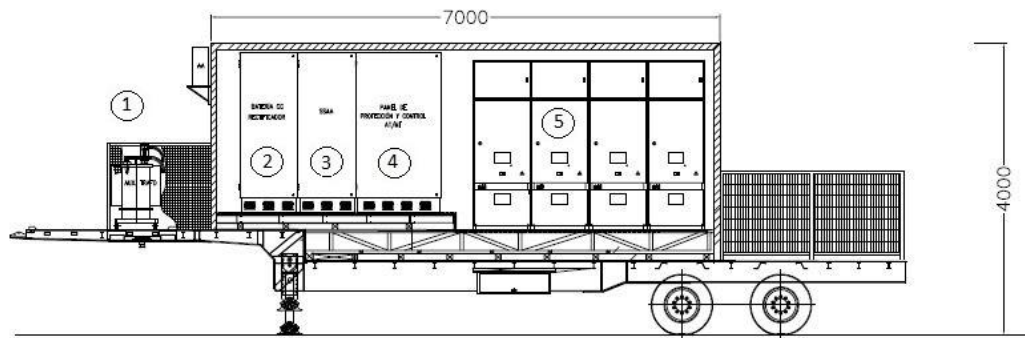


Figura 31. Semirremolque 3

- |                          |                                 |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1. Transformador de SSAA | 2. Rectificador y Batería       |
| 3. Armario SSAA          | 4. Protección y control AT y MT |
| 5. Celdas media tensión  |                                 |

#### 2.6.3.1 Góndola

Este camión o semitrailer incluirá un carrozado o contenedor, donde se alojarán las cabinas de Media Tensión, el armario de control del equipo híbrido Hypact, armario de protección y control de la aparamenta de alta tensión y media tensión, rectificador/baterías, armario de distribución AC/DC y transformador de servicios auxiliares.

El semitrailer propuesto es un vehículo que, al igual que los anteriores, cumple con homologación europea y que está especialmente diseñado para la instalación de subestaciones móviles. Se trata de un semirremolque (plataforma) de cuello de cisne rígido con dos ejes de 17,5" y las siguientes características:

Reparto de cargas:	11 Tm. x eje
Tara aprox.:	5 Tm
Longitud del semirremolque:	12.000 mm
Longitud cama baja:	8.000 mm
Anchura del cuello:	2.550 mm
Anchura total de la cama baja:	2.550 mm
Altura cama baja (con carga):	1000 mm
Tipo de suspensión:	Mecánica



### 2.6.3.2 Carrozado

En la parte trasera del semitrailer 3 se instalará un cerramiento que albergará los siguientes equipos: cuatro cabinas de media tensión, un Armario de Protección y control AT/MT, un armario de distribución AC/DC y un armario rectificador/batería. Este carrozado será necesario ya que los equipos que se encuentran en su interior no podrían encontrarse expuestos al exterior ya que su diseño no es de intemperie. Además será el habitáculo que hará la función de sala de operación y control de la subestación.

Este contenedor, el cual será de cerramiento metálico, tendrá las siguientes dimensiones externas:

Largo: 7.000 mm

Ancho: 2.550 mm

Altura: 3.000 mm

El contenedor tendrá las siguientes características constructivas:

#### Construcción del carrozado:

Las paredes laterales, frontales, traseras y el techo del carrozado estarán fabricadas mediante paneles tipo sándwich de chapa metálica de acero galvanizado. Las capas de aislante térmico intermedio serán de planchas de espuma de poliuretano.

Para dar rigidez a las paredes y al conjunto dentro del panel sándwich se dispondrán de perfiles rectangulares horizontales y verticales tipo pórticos con los refuerzos necesarios para los equipos, todos ellos de acero al carbono. Toda la estructura interior estará protegida con una capa de imprimación antioxidante. La unión de la estructura de paneles entre paredes techo y unión a semirremolque se realizará mediante soldadura.

Todo el conjunto del habitáculo del carrozado debe estar protegido contra ambientes húmedos, salinos, y corrosivos, garantizando un grado de protección mínimo de IP35. Además todo el conjunto estructuras/chapas formará una sola pieza desde el punto de vista eléctrico ya sea realizando la unión de todas las piezas metálicas por soldadura o con cableado eléctrico.

#### Estructura de soporte de equipos: bancada

En la estructura base se colocará la bancada correspondiente que dará soporte a cada uno de los armarios y equipos que estarán colocados dentro del carrozado. Esta estructura estará a la misma altura que el suelo de la estructura base. La parte superior estará hecha en vigas de perfil UPN y tubos, soldados al fondo de la estructura base hasta alcanzar la altura del falso suelo.



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

### Puertas y Accesos:

Está previsto que el contenedor tenga los siguientes accesos:

#### *Lateral Izquierdo:*

En la parte superior del lateral se dispondrá de dos focos halógenos exteriores embutidos de 60W y protección IP55. En este mismo lateral dispondrá de rejilla de ventilación con malla mosquitera y filtro anti polvo.

En este lateral habrá dos portones de una hoja para facilitar el acceso a las celdas por su parte trasera de cara a poder realizar las conexiones principales y para mantenimiento. Contará con cajas pasa muros para el paso de cables, a través de sistema de cierre estanco, a través de una puerta abatible en la parte inferior (debajo de la celda de salida), y otro ciego (sin puerta abatible) detrás de la celda de Servicios Auxiliares.

#### *Lateral Derecho:*

En este lateral se situará una de las puertas de acceso al interior del carrozado y que tendrá unas dimensiones aproximadas de 1.200 x 2.500 mm (ancho y alto respectivamente). El sentido de apertura de la puerta será hacia el exterior y a izquierdas incorporando manilla y cerradura con llave. El acceso a esta puerta se hará a través de una escalera desmontable con barandillas en ambos lados. Durante el transporte esta escalera irá ubicada en el interior del carrozando en la zona de la bodega.

Al igual que en el lateral izquierdo, se dispondrá, en la parte superior del lateral, de dos focos halógenos exteriores embutidos de 60 W y protección IP 55. En este mismo lateral dispondrá de rejilla de ventilación con malla mosquitera y filtro anti polvo.

#### *Parte Trasera*

En la parte trasera se ubicará una segunda puerta de acceso a la que se accederá mediante una escalera desmontable, con barandillas a ambos lados, que permitirá subir a la parte trasera del semirremolque, y por lo tanto a la puerta. Al igual que las anteriores dispondrá de una rejilla de ventilación, con malla mosquitera y filtro anti polvo. Incorporará un foco exterior orientable de potencia 500 W e IP55.

#### *Parte delantera*

En este panel delantero estará instalada la unidad condensadora del sistema de climatización. Se dispondrá en la parte superior del lateral, de dos focos halógenos exteriores embutidos de 60 W y protección IP 55.

### Instalaciones Eléctricas:

Iluminación normal interior: La instalación eléctrica será realizada según el REBT (Reglamento Electrotécnico para baja tensión). En el interior del carrozado se instalará el número necesario de luminarias y se utilizarán luminarias para fluorescentes,



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

de tipo estanco, montadas sobre los paneles laterales, y/o trasero y delantero. Igualmente, la zona de bodega estará iluminada.

Esta iluminación se controlará mediante un interruptor de pared, situados en el interior del carrozado, junto a la puerta de acceso. Se alimentará de los servicios auxiliares, desde una salida a tal efecto en el cuadro de distribución de corriente alterna, protegida por los correspondientes interruptores diferenciales y magnetotérmicos. También el encendido/apagado del sistema de iluminación se hará a través de sistema automático, coordinado con la apertura/cierre de puerta de acceso al carrozado. Las características eléctricas corresponden a un nivel de tensión de 208 Vca monofásico, 60 Hz.

**Iluminación de emergencia interior:** La iluminación de emergencia se implementará tanto en las luminarias como en los equipos de emergencia habituales para indicar las vías de salida, respetando el nivel exigido en el CTE (Código Técnico de la Edificación). Se incorporará la iluminación de emergencia en las propias lámparas normales, mediante equipos autónomos con batería propia, no alimentándose por tanto de la corriente continua del carrozado.

La iluminación de emergencia obligatoria se activará ante falta de corriente alterna.

### Tomas auxiliares de corriente:

Además se dispondrá de dos tomas auxiliares de corriente, ubicadas en dos puntos de fácil accesibilidad en el interior del carrozado. Estas tomas se alimentarán de una salida del cuadro de distribución de corriente alterna, protegida por los correspondientes interruptores diferenciales y magnetotérmicos.

Aparte, se incluirá en la parte exterior y en lugar accesible (panel delantero) una toma trifásica o grupo electrógeno, a través de la cual se dará suministro eléctrico de corriente alterna a los servicios auxiliares antes de que se energice el transformador de SSAA.

### Aire Acondicionado

El contenedor estará equipado con un equipo de aire acondicionado, tipo split (unidad evaporadora interna y condensadora externa), con una potencia de conjunto de 5.5 kW.

El sistema de calefacción y ventilación estará controlado por un termostato para eliminar la condensación y mantener la temperatura entre 10°C y 25°C.





**Figura 32. Carrozado**

### 2.6.3.3 Cabinas de Media Tensión

Las celdas de media tensión son un equipo compacto que pueden integrar equipos de maniobra (interruptores, seccionadores, etc), medida (transformadores de tensión, corriente, etc) y equipos de protección y control, y que se encargan de recibir y distribuir energía eléctrica.

En este caso, el sistema de media tensión estará compuesto por celdas de media tensión con simple barra de 13,8 kV tipo PIX-H aisladas en aire y para uso en intemperie. Tendremos cuatro celdas, de las cuales serán:

- Una celda de llegada del transformador de potencia
- Dos celdas de salida del circuito
- Una celda de salida de servicios auxiliares

#### **Características generales**

La celda “metal-clad” PIX de servicio interior es resistente al arco interno con un dispositivo de interrupción extraíble que permite su aislamiento con la puerta cerrada.

Su construcción prefabricada con placas de acero galvanizado ofrece una alta protección contra la corrosión y todas las operaciones son llevadas a cabo con los paneles y puertas cerradas.

La celda PIX permite minimizar el espacio requerido, con acceso a todos los compartimentos desde el panel frontal, lo que permite su instalación contra la pared.



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

La celda consta de cuatro compartimentos independientes:



**Figura 33. Compartimentos de la celda de media tensión**

*Compartimento de baja tensión (Número 1 en la figura 33):*

El compartimento de baja tensión contiene todas las funciones de protección y control. Cada uno de los tres compartimentos dispone de una compuerta, con la doble función de facilitar la salida de los gases en caso de sobrepresión e impedir que los gases evacuados en un compartimento puedan entrar en otro. Existen dos tipos distintos de enclavamientos mecánicos:

- Enclavamientos realizados por cada unidad de forma independiente del resto de la instalación. Éstos han sido diseñados para impedir operaciones peligrosas tanto para el personal como para la instalación.
- Operaciones y enclavamientos entre varios equipos de la misma instalación, cuyo principal propósito es el de imponer secuencias de operaciones e impedir así todo tipo de operaciones peligrosas tanto para el personal como para la instalación.

*Compartimento de interruptor (Número 2 en la figura 33):*

Compartimento para un elemento de corte extraíble (interruptor, contactor, desconectador), seccionador en carga o medida de tensión en barras.

Los dispositivos de interrupción del mismo tipo pueden ser intercambiables. Por seguridad se dispone de trampillas metálicas instaladas en la conexión al embarrado, que previenen el acceso al circuito primario, de esta manera se asegura la protección cuando el módulo de interruptor está en posición de prueba o extraído.

Una ventana de inspección en la puerta permite ver claramente la posición del dispositivo de interrupción dentro del compartimento.

Se cuenta con dispositivos de bloqueo mecánicos, de acuerdo a normas IEC, que evitan cualquier operación insegura.



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

*Compartimento de barras (Número 3 en la figura 33):*

Localizado en la parte superior trasera de la celda es accesible bien por la parte superior o bien por la parte frontal de la misma.

*Compartimento de cables (Número 4 en la figura 33):*

Este compartimento contiene:

- Conexiones de cables de potencia, hasta  $6 \times 630 \text{ mm}^2$  por fase.
- Cuchilla de puesta a tierra, cuya posición es visible desde el panel frontal a través de una ventana de inspección.
- Transformadores de intensidad.
- Transformadores de tensión, fijos o sobre carro extraíble, con o sin fusibles de protección.
- Conducto para cables de baja tensión situado en la parte lateral derecha.

### **Datos técnicos**

Tipo de Celda	PIX
Sistema de barras	Simple
Número de fases	3

### **Datos Eléctricos**

Tensión asignada	17,5 kV
Tensión de servicio 13,8 kV	13,8 kV
Frecuencia	60 Hz
Tensión soportada a frecuencia industrial	38 kV
Tensión soportada a impulso tipo rayo	95 kV
Intensidad de cortocircuito	25 kA (1 s)
Intensidad de pico asignada	63 kA
Intensidad asignada en barras	1600 A

### **Grado Protección**

Techo	IP 3X
Frontal/Laterales	IP 3X
Base	IP 3X
En caso de Puerta Abierta	IP 3X



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Armario de Baja Tensión	IP 3X
-------------------------	-------

### Tensión Auxiliar

Control	125 Vcc
---------	---------

Motor	125 Vcc
-------	---------

Sistema de Protección	125 Vcc
-----------------------	---------

Control remoto	125 Vcc
----------------	---------

### Instalación con pasillo posterior

Distancia mínima parte posterior	900 mm
----------------------------------	--------

Distancia mínima frontal	1500 mm
--------------------------	---------

Altura mínima recomendada de la sala	3400 mm
--------------------------------------	---------

### Dimensiones

Ancho de paneles laterales finales	25 mm
------------------------------------	-------

Altura máxima de las celdas	2800 mm
-----------------------------	---------

Profundidad máxima de las celdas	1500 mm
----------------------------------	---------

### Propiedades

Medio de extinción de arco en interruptores	Vacio
---	-------

Fijación trasera de la celda	Remachada
------------------------------	-----------

Clasificación IAC	AFLR
-------------------	------

### Pintura

Color estándar	RAL 7032
----------------	----------

### Condiciones ambientales

Altitud máxima sobre el nivel del mar	< 1000 m
---------------------------------------	----------

Temperatura ambiente máxima	40 °C
-----------------------------	-------

Temperatura ambiente mínima	-5 °C
-----------------------------	-------

Temperatura media en 24 H	< 35 °C
---------------------------	---------

Humedad relativa media en 24 H	< 95%
--------------------------------	-------

Humedad relativa media en 1 mes	< 90%
---------------------------------	-------

### Normativa

Celda	IEC 62271-200 / EN 62271-200
-------	------------------------------



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Celda	IEC 60694 / EN 60694
Clasificación IAC	IEC 62271-200/ EN 60694
Seccionador	IEC 62271-102/ EN 62271-102
Seccionador de tierra	IEC 62271-102/ EN 62271-102
Interruptor automático	IEC 62271-100/ EN 62271-100
Contactador	IEC 60470/ EN 60470
Transformador de Intensidad	IEC 60044-1/ EN 60044-1
Transformador de Tensión	IEC 60044-2/ EN 60044-2
Sistema de detección de presencia de tensión	IEC 61958
Grado de protección (código IP)	IEC 60529/ EN 60529
Fusible	IEC 602821
Combinado interruptor-fusible	IEC 60420

### **Celda de llegada del transformador**

Cantidad	1
Tipo	PIX 17.5
Ancho	750 mm
Altura	2800mm
Profundidad	1505 mm

### **1 Interruptor de corte en vacío**

Tipo	HVX 17-25-16 E
Intensidad nominal	1600 A
Tensión auxiliar del motor	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de cierre	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de apertura 1	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de apertura 2	125 Vcc
Contactos auxiliares	16
Sistema de detección de presencia de tensión	VPIS
Cables por fase	4



**1 Seccionador de puesta a tierra**

Maniobra	Manual
Bloques de contactos auxiliares	8

**3 Transformador de corriente**

Intensidad nominal de primario	800-1600 A
Intensidad nominal de secundario	5-5-5 A
1er Secundario	
- Clase/Potencia	cl. 0,5/ 10 VA
2nd Secundario	
- Clase/Potencia	10P20/ 15 VA
3 rd Secundario	
- Clase/Potencia	10P20/ 15 VA

**3 Transformador de Tensión**

Relación de transformación	$13800:\sqrt{3}/120: \sqrt{3} /120: \sqrt{3}$
1er Secundario	
- Clase/ Potencia	cl. 0,5/ 15 VA
2do Secundario	
- Clase/ Potencia	3P/ 15 VA
Fusible	2 <sup>a</sup>

**1 Armario de Baja Tensión**

- 1 Interruptor magnetotérmico bifásico para protección de circuitos de motor
- 1 Interruptor magnetotérmico bifásico para protección de circuitos de mando y señalización
- 1 Interruptor magnetotérmico bifásico para protección de circuitos de tensión alterna
- Bornas cortocircuitables para circuitos de intensidad s/n
- Bornas seccionables para circuitos de tensión s/n
- Bornas, canaletas y cables s/n.



**Celda de salida del circuito**

Cantidad	2
Tipo	PIX 17
Ancho	750 mm
Altura	2800mm
Profundidad	1505 mm

**1 Interruptor de corte en vacío**

Tipo	HVX 17-25-06 E
Intensidad nominal	630 A
Tensión auxiliar del motor	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de cierre	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de apertura 1	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de apertura 2	125 Vcc
Contactos auxiliares	16
Sistema de detección de tensión	VPIS
Cables por fase	1

**1 Seccionador de puesta a tierra**

Maniobra	Manual
Bloques de contactos auxiliares	8

**3 Transformador de corriente**

Intensidad nominal de primario	300-600 A
Intensidad nominal de secundario	5-5-5 A
1er Secundario	
- Clase/Potencia	cl. 0,5/ 10 VA
2nd Secundario	
- Clase/Potencia	10P20/ 15 VA
3 rd Secundario	
- Clase/Potencia	10P20/ 15 VA





### 1 Armario de Baja Tensión

- 1 Interruptor magnetotérmico bifásico para protección de circuitos de motor
- 1 Interruptor magnetotérmico bifásico para protección de circuitos de mando y señalización
- Bornas cortocircuitables para circuitos de intensidad s/n
- Bornas, canaletas y cables s/n.

### Celda salida de Servicios Auxiliares

Cantidad	1
Tipo	PIX 17
Ancho	750 mm
Altura	2800mm
Profundidad	1505 mm

### 1 Interruptor de corte en vacío

Tipo	HVX 17-25-06 E
Intensidad nominal	630 A
Tensión auxiliar del motor	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de cierre	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de apertura 1	125 Vcc
Tensión auxiliar de bobina de apertura 2	125 Vcc
Contactos auxiliares	16
Sistema de detección de tensión	VPIS
Cables por fase	1

### 1 Seccionador de puesta a tierra

Maniobra	Manual
Bloques de contactos auxiliares	8

### 1 Armario de Baja Tensión

- 1 Interruptor magnetotérmico bifásico para protección de circuitos de motor
- 1 Interruptor magnetotérmico bifásico para protección de circuitos de mando y señalización



Bornas, canaletas y cables s/n.

### Accesorios

- 1 Panel final derecho
- 1 Panel final izquierdo
- 1 Manivela extracción/inserción interruptor
- 1 Manivela carga manual de muelles
- 1 Manivela accionamiento seccionador puesta a tierra
- 1 Carro extracción interruptor
- 1 Llave compartimiento interruptor
- 1 Maneta puerta compartimiento interruptor
- 1 Llave armario de protección y control



**Figura 34. Celdas de Media Tensión PIX**

#### **2.6.3.4 Armario de distribución AC/DC**

En el interior del carrozado se situará un armario de distribución para servicios auxiliares AC/DC, el cual contendrá todas las protecciones y circuitos auxiliares para la distribución en 208 Vca y 125 Vcc. Las dimensiones del armario aproximadas serán de 800 mm x 600 mm x 2000 mm (ancho x profundidad x altura).



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

El bastidor estará formado por diferentes bloques. En la parte superior se encontrará el bloque de medida que contendrá los voltímetros y amperímetros tanto para continua como alterna. A continuación todos los interruptores del bloque de corriente alterna con su juego de barras de 208 Vca, y, más abajo, los interruptores del bloque de corriente continua con su juego de barras de 125 Vcc. Por último, en la parte inferior del bastidor se encontrará el bloque de alimentación con su conmutador que servirá para modificar la alimentación de la corriente alterna, estando alimentado al principio por una toma externa o grupo electrógeno, mientras la subestación no está energizada, y cuando este hecho se produzca se cambiará al transformador de SSAA. La corriente continua estará alimentada por el conjunto rectificador-batería.

A continuación se describirán los elementos que constituyen los dos bloques principales:

### Corriente Alterna 208 Vca

- Interruptor principal de caja moldeada tripolar de 160 A que protegerá el lado de baja tensión del trafo SSAA
- Dos interruptores tripolares de 25 A para cargar la batería de 125 Vcc y para reserva
- Un interruptor monopolar de 10 A para el alumbrado interior del carrozado
- Tres interruptores monopolares de 16 A para el alumbrado externo del semitrailer, para el circuito de fuerza interna del semitrailer y para reserva
- Un interruptor monopolar para el alumbrado de emergencia del semitrailer
- Dos interruptores tripolares de 25 A para climatización y reserva
- Tres interruptores tripolares de 16 A para el alumbrado y la calefacción de las celdas de MT, de la Hypact y del armario de P&C de AT
- Un interruptor tripolar de 40 A para alimentar los motores de la bomba, la ventilación del trafo y el cambiador de tomas (OLTC)
- Un interruptor tripolar de 6 A para la conmutación del voltímetro de CA
- Un interruptor bipolar de 1,6 A para el alumbrado del propio armario de SSAA
- Un interruptor monopolar de 6 A para la calefacción del propio armario de SSAA

### Corriente continua 125 Vcc

- Un interruptor principal de caja moldeada tripolar de 160 A que protegerá los principales circuitos respaldados por las baterías
- Tres interruptores de 25 A para alimentación de los circuitos de control de las celdas de MT, de armario de P&C de AT y del armario de trafo y OLTC
- Tres interruptores de 25 A para el circuito de fuerza de MT, de la hypact y el trafo AT y para reserva
- Un interruptor de 10 A para el telecontrol de MT y AT
- Un interruptor de 2 A para el conmutado del voltímetro de CC



**Figura 35. Armario Servicios Auxiliares**

### 2.6.3.5 Equipo Rectificador/Batería

Este equipo permitirá almacenar energía en corriente continua para maniobras (fundamentalmente apertura de interruptores) de emergencia en caso de falta de suministro de los servicios auxiliares. Esta corriente directa será posible gracias a un conjunto de baterías de 125 Vcc de 134 Ah de capacidad nominal, como sistema de respaldo de energía ante situaciones de emergencia y un cargador de baterías trifásico de 208 Vca, 60 Hz, a 125 Vcc, 50 A

Este sistema estará contenido en un armario metálico de las siguientes dimensiones: 800mm x 600mm x 2000mm (ancho x profundidad x altura), grado de protección IP 20.

#### **Rectificador**

Las características generales del rectificador serán las siguientes:

- Uso: Interior

#### *Entrada*

- Servicio de tensión y corriente constante: Si
- Número de fases entrada: 3
- Tensión nominal de alimentación: 208 Vca



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- Frecuencia: 60 Hz
- Tolerancia de Frecuencia: +/- 5%
- Protección: Interruptor automático, con contactos auxiliares

### *Salida*

- Regulación de Tensión ajustada: +/- 1%
- Regulación de Corriente ajustada: +/- 2%
- Rango de Ajuste de tensión de igualación: +/- 5%
- Tensión de salida: 125 Vcc
- Corriente de salida: 50 A
- Tensión de igualación: 144 Vcc
- Tensión de flotación: 136,5 Vcc
- Eficiencia: > 85%
- Factor de potencia: 0,8
- Nivel de ruido: 65
- Ripple máximo: <5%

### **Baterías 125 Vcc**

Estará compuesto por 10 bloques de batería de plomo estanco y 134 Ah de capacidad nominal con las siguientes características:

- Tipo de baterías: Plomo selladas, libre de mantenimiento
- Uso: Interior
- Modo de carga: Flotación e igualación
- Instalaciones: Internas
- Tensión asignada de banco de baterías: 125 Vcc



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- Cantidad de monobloques de seis (6) celdas cada uno: 10
- Modo de utilización: Flotante

### *Características eléctricas de las celdas*

- Tensión por celda al final de la descarga: 1,75 Vcc
- Tensión por celda en carga flotante: 2,275 Vcc
- Tensión por celda en carga normal automática: 2,35 Vcc
- Masa de una celda: 45 Kg
- Capacidad, 8 h: 134 Ah



**Figura 36. Rectificador / Batería**

### **2.6.3.6 Equipo de Protección & Control**

El equipo de protección y control será el encargado de asegurar una adecuada respuesta de todos los equipos que forman la subestación. La parte de protección será la encargada de proteger tanto a las personas de contactos eléctricos directos o indirectos como a los equipos ante fallos eléctricos como pueden ser: cortocircuitos, sobretensiones (de descarga atmosférica y maniobra), variaciones de frecuencia, etc.

La parte de control será la encargada de permitir la operación de la aparamenta eléctrica de manera centralizada por parte de los operadores en dos niveles: local (en los



mismos equipos) y remota (desde el centro de control de la compañía). El sistema de control permitirá visualizar tanto el estado y las variables de todos los elementos (cierre y apertura, magnitudes eléctricas, etc) así como las señales de alarma y fallo. Todo esto se consigue porque los equipos están comunicados entre sí, normalmente mediante fibra óptica.

Los equipos de protección y control de la parte de alta tensión estarán situados en un armario de dimensiones aproximadas 2.000 x 1.200 x 800 mm (alto x ancho x fondo). Los equipos de protección y control de la parte de media tensión estarán situados en las propias celdas de media tensión. Todos estos armarios y equipos mencionados estarán situados en el interior del carrozado.

### **Armario de protección y control de Alta tensión y Media tensión**

Este armario incluirá los equipos de protección y control de la parte de alta tensión y la parte de control de media tensión: contendrá como protección principal un relé Micom Alstom P643, como respaldo un relé Micom Alstom P142, dos unidades de control de posición Micom Alstom C264 (una para la parte de alta tensión y otra para la parte de media tensión) y dos relés 86. Además en la parte central tendrá un cubículo de control que permitirá maniobrar los interruptores y seccionadores en el propio armario.

La protección principal del armario será la **Micom Alstom P643** que es una protección del transformador de potencia y que se encargará de proteger el transformador y la línea de AT y por lo tanto también la hypact. Sus funciones principales son:

- Protección diferencial del transformador (87T)
- Sobre-corriente de fase y neutro (50-51, 50N-51N)
- Sobre y baja tensión (59/27)
- Baja y sobre-frecuencia (81U/O)
- Fallo del interruptor (50BF)
- Sobrecarga térmica (49)
- Sobre excitación (24)
- Dispositivo de sincronización o puesta en paralelo (25)
- Medida y control

Cada una de estas funciones está asociada a por lo menos un interruptor de manera que si se activan provocarán su disparo y permitirán así aislar la falta y mantener la subestación segura. Todas estas funciones provocarán el disparo del interruptor del lado de alta tensión del transformador (incorporado en la hypact) y en el caso de las funciones 50BF, 87T y 49, provocarán además el disparo del interruptor del lado de media tensión del transformador (incluido en la celda de trafo).

La protección **Micom Alstom P142** actuará como respaldo del transformador de potencia y de la línea de alta tensión para evitar que si hay algún fallo en la protección principal el sistema no se quede desprotegido. Este relé dispondrá de las mismas





funciones que el P643 salvo la función diferencial (87T), la de sobre excitación (24) y la puesta en paralelo (25). Esta protección dará respaldo al lado de alta tensión (como respaldo de la parte de media tensión habrá otro relé P142 en la celda de trafo) de forma que si la protección principal no detecta una falta que implique apertura del interruptor de alta tensión este relé ejecutará dicha acción.

El **relé 86** es un relé de disparo de reposición manual y eléctrica de forma que si este relé se activa y provoca el disparo de un interruptor, éste no podrá ser cerrado hasta que un operario vaya a la subestación y lo cierre manualmente. El relé 86-1 estará conectado con el relé P643 e irá ligado al interruptor de alta tensión. Por su parte, el relé 86-2 estará conectado con el relé P643 e irá ligado con el interruptor del lado de media tensión.

El equipo **Micom Alstom C264** es el elemento de comunicación de la subestación y se encarga de centralizar todas las señales de todos los equipos y enviarlas al despacho de la compañía de forma que se pueda controlar la subestación desde la sede de la compañía, sin necesidad de estar allí presente. Aparte de manejar la información de las señales, este equipo también se puede usar como unidad terminal remota (RTU), como relé de protección y control, como centro de medida, como convertidor de protocolos, etc. Como se ha dicho anteriormente en este armario tendremos dos unidades, una para la parte de alta tensión (Micom C264C) y otra para la parte de media tensión (Micom C264L).

La unidad C264C funcionará como unidad terminal remota (RTU) y de esta forma permitirá controlar el interruptor de alta tensión, pudiendo abrirlo o cerrarlo si se le da la orden. Además, esta unidad contará con una función de dispositivo de regulación (90) que regulará la tensión en las tomas del transformador de potencia.

La unidad C264L funcionará como unidad de terminal remota (RTU) para las cuatro celdas de media tensión permitiendo abrir y cerrar el interruptor de media tensión del transformador en caso de que haya alguna falta o problema en el sistema. Funcionará como si cada celda tuviese una unidad C264 propia ya que tendrá configuración propia para cada celda.

### **Protección y control de Media Tensión**

En el lado de media tensión se pueden encontrar tres tipos de celda diferentes que usarán el mismo relé de protección, Micom Alstom P142 pero con distintas configuraciones.

#### *Celda del transformador de potencia de media tensión*

Los equipos de protección y control irán ubicados en la parte superior de la cabina de media tensión de llegada del transformador. En esta celda se ubicará un relé Micom Alstom P142 y un control local de los elementos de la celda (representado por su diagrama unifilar) que permitirá maniobrar el interruptor y el seccionador localmente.



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

La unidad **Micom Alstom P142** funcionará como protección del transformador y como respaldo de la protección principal (P643) del transformador de potencia para la parte de media tensión. Sus principales funciones son:

- Sobre-corriente de fase y neutro (50-51, 50N-51N)
- Sobre y baja tensión (59/27)
- Baja y sobre-frecuencia (81U/O)
- Fallo del interruptor (50BF)
- Sobrecarga térmica (49)
- Medida y control

Cuando alguna de estas funciones se active, se producirá el disparo del interruptor de media tensión del transformador de potencia y en el caso de la función de fallo del interruptor (50BF) se disparará también el interruptor de alta tensión. Por su parte, la función 49, está conectada con el relé 86-2 del armario de alta tensión por lo que provocará el disparo del interruptor a través de este relé.

*Nota: El sistema de protección y control está diseñado de tal forma que, en caso de fallo de algún interruptor, se disparará el de aguas arriba de manera que el sistema no quede expuesto. Esta protección se hará a través de la función de fallo del interruptor (50BF). Así, la protección de la celda del trafo SSAA se configurará de tal manera que si se activa esta función se disparará también el interruptor de aguas arriba, es decir, el interruptor de media tensión del transformador. Lo mismo sucede con la configuración de las celdas de salida, en caso de fallo del interruptor también se disparará el interruptor de media tensión. En el caso de la celda del transformador de potencia, si se activa esta función provocará el disparo del interruptor aguas arriba, es decir, el interruptor de alta tensión. De esta forma todo el sistema queda protegido ante el fallo de disparo de algún interruptor.*

### *Celdas de salida MT CTO-1, CTO-2*

En el cubículo de control de la celda PIX 13,8 kV de salida de los circuitos CTO-1 y CTO-2 se ubicará un relé Micom Alstom P142 (una unidad por celda) y un control local de los elementos de la celda (representado por su diagrama unifilar) que permitirá maniobrar el interruptor y el seccionador localmente.

La unidad **Micom Alstom P142** protegerá la línea de media tensión. Sus principales funciones son:

- Sobre-corriente de fase y neutro (50-51, 50N-51N)
- Sobre y baja tensión (59/27)
- Baja y sobre-frecuencia (81U/O)
- Fallo del interruptor (50BF)
- Auto recierre (79)



- Medida y control

Cuando alguna de estas funciones se active, se producirá el disparo del interruptor de la línea. Además, esta unidad incorpora la función auto recierre (79) que controla el cierre automático del interruptor y que se podrá activar localmente en el propio panel mediante un conmutador.

### *Celda de MT Transformador de SSAA*

En el cubículo de control de la celda PIX 13,8 kV del transformador de servicios auxiliares, se ubicará un relé Micom Alstom P142 y un control local de los elementos de la celda (representado por su diagrama unifilar) que permitirá maniobrar el interruptor y el seccionador localmente.

La unidad **Micom Alstom P142** protegerá el transformador de servicios auxiliares. Sus principales funciones son:

- Sobre-corriente de fase y neutro (50-51, 50N-51N)
- Sobre y baja tensión (59/27)
- Baja y sobre-frecuencia (81U/O)
- Fallo del interruptor (50BF)
- Medida y control

Cuando alguna de estas funciones se active, se producirá el disparo del interruptor de la línea.



Micom Astom C264



Micom Alstom P143



Micom Alstom P643

**Figura 37. Equipos de P&C**

### **2.6.3.7 Transformador de Servicios Auxiliares**

Para disponer de servicios auxiliares se ha previsto la instalación de un transformador de 30 kVA que irá situado sobre el cuello del semirremolque en una



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

caseta, contigua al carrozado, especialmente diseñada para ello. Este transformador irá conectado a la celda de 13,8 kV de alimentación de servicios auxiliares y, a su vez, alimentará en baja tensión el cuadro de servicios auxiliares.

Las características generales de este equipo son:

- Norma: IEC 60076-11
- Tipo: Encapsulado en resina
- Clase: E2 – C2 – F1
- Potencia nominal: 30 kVA
- Tensión primaria: 13,8 kV
- Tensión secundaria: 208 V
- Frecuencia: 60 Hz
- Regulación: +/-2,5 +/- 5,0%
- Grupo de conexión: Dyn5
- Material AT7BT: Cu/Al
- Refrigeración: AN
- Perdidas en vacío: 360 W
- Perdidas en carga 120 °C: 1100 W
- Perdidas en carga 75 °C: 968 W
- Tensión de corto circuito a 120 °C: 4%
- Presión Sonora (1m): 45 dB (A)
- Intensidad de Vacío (100% Un): 1,8 %



**Figura 38. Transformador de Servicios Auxiliares**



### 2.6.3.8 Cable de media tensión

Para mejorar la operatividad de la S/E móvil se suministrará el cable de media tensión que deberá conectar la salida de 13,8 kV del transformador de potencia con la celda de llegada de transformador.

En una subestación móvil las distancias entre los equipos son muy pequeñas por lo que los radios de curvatura de los cables deberán ser muy pequeños. Por este motivo el cable de media tensión se fabrica con cobre de clase 5 bajo la norma CEI-60228 y con aislamiento HEPR lo que permite obtener radios de curvatura menores.

Las características del cable se describen a continuación:

*Cable de Media*

*Unidades*

#### **Datos identificativos**

Norma		IEC 60502-2
Tensión Nominal	kV	12/20
Nº Conductores x Sección		1 x150 mm <sup>2</sup>

#### **Características del Diseño**

Material conductor		Cu
Diámetro Nominal	mm	26,1
Material pantalla sobre conductor		Capa semiconductor extruida
Espesor nominal	mm	0,5
Clase/Norma		5/CEI-60228
Material aislamiento		HEPR
Material pantalla sobre aislamiento (no metálico)		Capa semiconductor extruida
Espesor nominal	mm	0,5
Material pantalla sobre aislamiento (parte metálica)		Hilos Cu
Formación de la pantalla	N x mm	60x0,583
Sección nominal total	mm <sup>2</sup>	16
(Hilos Cu + Cinta metal/copolímero)		



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Material cubierta		PVC
Diámetro nominal exterior	mm	32,7
Peso nominal	kg/km	2130
Radio mínimo de curvatura	mm	490

### Datos Eléctricos

Intensidad máxima admisible

en régimen permanente (*)	A	405 (1) /325 (2)
---------------------------	---	------------------

Temp. máx. conductor

en régimen permanente / en cortocircuito	°C	90 / 250
--	----	----------

(1) Al aire, a 40°C / (2) Enterrado, a 25 °C - 1,5°K·m/W - 1m



**Figura 39. Cable de media tensión**

### **2.7 Ensayos y Pruebas**

Todos los equipos serán sometidos a determinadas pruebas y ensayos de cara a determinar su correcto funcionamiento. Se realizarán pruebas individuales a cada equipo y posteriormente, cuando la subestación esté montada, se realizarán pruebas a todo el conjunto para comprobar el funcionamiento de la misma una vez lista para su uso.

Las pruebas individuales de cada equipo serán realizadas por el correspondiente fabricante, recogiendo los resultados en unos certificados para verificar la superación de dichas pruebas y ensayos que se denominan FAT (Factory acceptance test). Las pruebas como conjunto se realizarán en las mismas instalaciones de montaje de la



subestación una vez se considere que esté totalmente terminado su montaje y se denominarán pruebas de aceptación del conjunto. También se podrán realizar pruebas in situ denominadas SAT (Site acceptance test).

Antes de describir los diferentes ensayos realizados a cada equipo es conveniente diferenciar entre los distintos tipos de ensayo:

- Ensayos de rutina: Son los ensayos a los que se someten todos o una gran proporción de los equipos de una serie con el fin de verificar la calidad y uniformidad de fabricación y de los materiales utilizados.
- Ensayos de tipo: Son los ensayos realizados sobre unos o dos equipos de un mismo modelo con el fin de verificar una determinada característica y así demostrar que todos los modelos construidos bajo esa misma especificación de diseño podrán superar ese mismo ensayo.

A continuación se describirán las principales pruebas y ensayos realizados a los equipos principales de la subestación y por último se describirán las pruebas realizadas a la subestación como conjunto.

### 2.7.1 Hypact

La Hypact es sometida a los siguientes ensayos tipo de acuerdo a la norma DIN-EN ISO/IEC 17025 para test de aparamenta de alta tensión:

- Ensayo dieléctrico del interruptor
- Ensayo dieléctrico del seccionador
- Ensayo dieléctrico del seccionador puesta a tierra
- Ensayo R.I.V.
- Ensayo de descarga parcial
- Ensayo de aumento de temperatura en interruptor y seccionador
- Medida de la resistencia en interruptor y seccionador
- Ensayo de máxima corriente de corto y pico admisible
- Ensayo básico de cortocircuitos

En cuanto a los ensayos de rutina, este equipo será sometido a los ensayos de acuerdo a la norma IEC 60-1: “High-Voltage test techniques” que serán:

- Ensayos dieléctricos con tensión continua
- Ensayos dieléctricos con tensión alterna
- Ensayos dieléctricos con tensión de impulso
- Ensayos con impulso de corriente

### 2.7.2 Transformador de Potencia

El transformador de potencia será sometido a los ensayos de rutina establecidos por la norma IEC-76:

- Medida de resistencia de los arrollamientos





- Relación de transformación y comprobación del grupo de conexión
- Tensión aplicada a frecuencia industrial
- Tensión inducida (sobretensión)
- Pérdidas en vacío y corriente en vacío
- Pérdidas debidas a la carga y tensión de cortocircuito
- Comprobación del funcionamiento de los dispositivos de protección
- Comprobación del cambiador de tomas
- Rigidez dieléctrica del aceite
- Análisis químico del aceite

Los ensayos tipo a los que puede ser sometido este equipo normalmente son opcionales por ser costosos y son:

- Calentamiento
- Choque con onda plena o impulso tipo rayo
- Nivel de ruido
- Ensayo de capacidad y  $\tan \delta$

### 2.7.3 Celdas de media tensión

Los ensayos de rutina son realizados conforme a la norma UNE EN 62271-200 “Aparata de alta tensión. Parte 200: Aparata bajo envolvente metálica de corriente alterna para tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV”, estructurados de la siguiente manera:

#### a) Alta tensión

- Revisión de la conformidad de la construcción.
- Revisión de las operaciones mecánicas y cerraduras de los enclavamientos
- Ensayo de resistencia a tensión de frecuencia industrial de los circuitos principales y auxiliares
- Ensayo de continuidad de las pletinas de tierra
- Revisión del grado de protección de la envolvente

#### b) Baja tensión

- Revisión de las funciones eléctricas
- Revisión del cableado

#### c) Parte móvil

- Revisión de la conformidad de la construcción
- Revisión de las presiones de gas y hermetismo de polos (en el caso de interruptores de corte en gas SF<sub>6</sub>)
- Revisión de las funciones mecánicas y eléctricas
- Ensayo de resistencia a tensión de frecuencia industrial



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- Ensayo de continuidad de las pletinas de tierra
- Medición del circuito de resistencia

En este caso no se realiza ningún ensayo de tipo durante las pruebas de aceptación en fábrica. En su lugar, se pueden solicitar los informes de dichos ensayos en equipos similares, realizados en laboratorios oficiales. Dichos ensayos de tipo son los siguientes:

- Ensayos dieléctricos
- Incremento de temperatura
- Ensayo de resistencia
- Ensayos de sobre intensidad
- Arco interno

### **2.7.4 Autoválvulas o Pararrayos**

Las autoválvulas o pararrayos serán sometidas a los ensayos de rutina de acuerdo a la norma IEC 60099-4 y estos serán:

- Inspección visual y características constructivas
- Potencia-frecuencia a voltaje de referencia y 1 mA pico
- Tensión residual tipo rayo a 10 kA con forma de onda 8/20
- Ausencia de descarga parcial y ruido de contacto

### **2.7.5 Transformadores de tensión**

Los transformadores de tensión serán sometidos a los ensayos de rutina de acuerdo a la norma IEEE C93.1/99 y serán:

- Tensión soportada a frecuencia industrial
- Medida de descargas parciales
- Verificación del marcado de los terminales
- Tensión soportada a frecuencia industrial en la unidad electromagnética
- Tensión soportada a frecuencia industrial del terminal de baja tensión
- Tensión soportada a frecuencia industrial sobre los arrollamientos secundarios
- Comprobación de ferorresonancia

### **2.7.6 Transformador de Servicios Auxiliares**

El transformador de servicios auxiliares será sometido a los siguientes ensayos de rutina:

- Medición de la resistencia del devanado
- Medición de la relación de transformación en cada toma
- Comprobación de la conexión del grupo símbolo/vector
- Medida de la impedancia de cortocircuito y pérdida en carga



- Medida sin carga y corriente

### 2.7.7 Pruebas finales de aceptación de la subestación completa

Las subestación móvil al completo, una vez montada y totalmente preparada podrá ser sometida a dos tipos de pruebas distintas:

- Pruebas FAT (pruebas de aceptación en fábrica): Son los controles de calidad que mediante ensayos se le realizan a la subestación para comprobar que los equipos una vez conectados entre sí funcionan correctamente como conjunto. Estas pruebas garantizan que la subestación está lista para conectar al llegar a su destino y se hacen en las instalaciones del fabricante una vez montados y ensamblados todos los equipos que la forman. Algunos de los ensayos funcionales realizados son:
  - Control de toda la aparamenta: verificar la correcta maniobra de todos los interruptores, seccionadores y demás elementos de corte y maniobra.
  - Verificación de protecciones: correcto cableado, inyección de corriente o tensión a los relés para verificar su correcto funcionamiento ante faltas, señalización de alarmas.
  - Pruebas a los circuitos de medida: comprobación de la correcta medida y cableado de los transformadores de intensidad y de tensión.
- Pruebas SAT (pruebas de aceptación in situ): Son los controles de calidad que mediante ensayos se le realizan a la subestación una vez llega a su destino, es decir, son las mismas pruebas que las FAT pero ya sobre el terreno. Se repiten determinadas pruebas FAT, habitualmente las funcionales, para comprobar que en el transporte no ha habido ninguna alteración (por ejemplo, conexiones eléctricas que se han aflojado, reapriete de tornillos, etc.).

En el caso de la subestación móvil diseñada en este proyecto no se incluirán pruebas SAT sino que se realizarán las pruebas FAT en la fábrica y será entregada al cliente. Si el cliente quiere realizar pruebas in situ tendrá que encargarlas por su cuenta.

### 2.8 Régimen de funcionamiento

Como se ha comentado a lo largo del proyecto, las subestaciones podrán ser diseñadas de manera modular, es decir, que podrá tener diferentes posibilidades de funcionamiento según la parte de la subestación que se desee usar. En este caso se podrá utilizar la subestación completa o el módulo de media tensión.

Para implantar la parte de media tensión solo será necesario implantar el tráiler 3 que contiene las celdas y todos los servicios auxiliares y de protección y control de esta aparamenta.

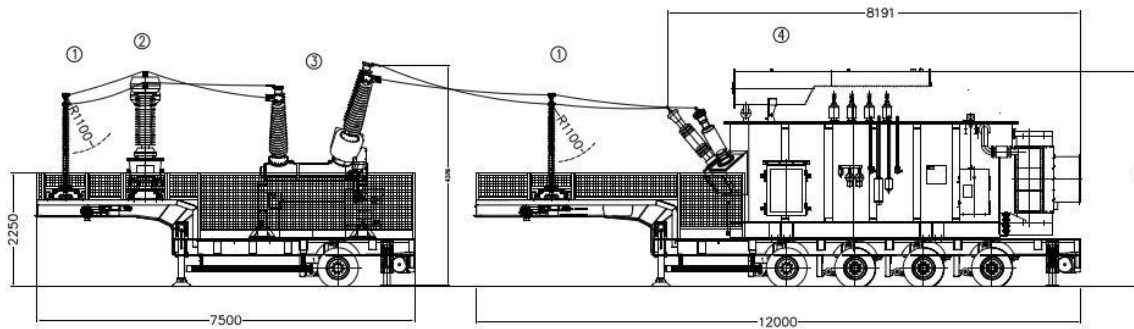
Para implantar la subestación completa será necesario conectar el semirremolque 1 con el semirremolque 2 a través de la hypact y de los pararrayos y, por otro lado, se



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

conectará el transformador de potencia a las celdas de media tensión. Luego la subestación se conectará a la línea de alta tensión.

En el caso de este proyecto no es posible utilizar el módulo de alta tensión por separado ya que no contiene equipos de protección y control y servicios auxiliares en el propio tráiler. Si se deseara usar esta opción sería necesario suministrar los equipos de protección y control y los equipos de servicios auxiliares en otro tráiler o contenedor.



**Figura 40. Conexión de la parte de Alta Tensión**

1. Pararrayos
2. Transformador de Tensión
3. Módulo Híbrido “HYpact”
4. Transformador de Potencia

### 2.9 Project Management

Project Management o Gestión de Proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas en las actividades del proyecto con el fin de cumplir las necesidades y expectativas de un proyecto. El Jefe de Proyecto es el encargado del mismo y el que debe conseguir que todos los departamentos implicados colaboren entre sí de manera que todo el equipo comparta riesgos y resultados. Para conseguir una adecuada gestión del proyecto es necesario desarrollar un proceso dinámico en el cual se estructuren los diferentes equipos de forma que estos puedan ser organizados, puedan ser definidos objetivos comunes y se tomen las decisiones correctas de manera proactiva y anticipada [19].

Cada proyecto es único de manera que cada uno requerirá un trato diferente en función de sus características y necesidades. Hay tres cualidades que definen o condicionan un proyecto y son: calidad, tiempo de entrega y coste. El Jefe de Proyecto será el que tendrá que valorar que aspecto es más adecuado en cada momento de cara a conseguir el balance adecuado para alcanzar el objetivo final.

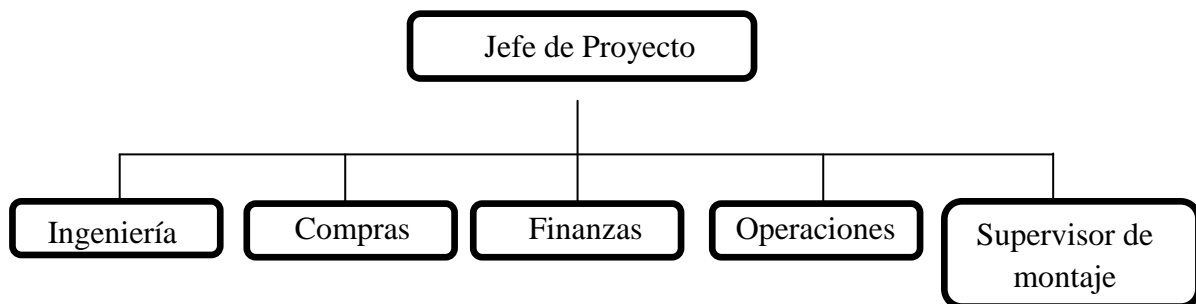
Hay diez áreas de conocimiento que describen las competencias claves que el Jefe de Proyecto debe desarrollar y que son: cuatro áreas de conocimiento



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

fundamentales que conducen a objetivos específicos del proyecto (objetivo, tiempo, coste y calidad), cinco áreas de conocimiento a través de las que se consiguen los objetivos del proyecto (recursos humanos, comunicación, riesgos y oportunidades, gestión de contratos y dirección de obra) y un área de conocimiento que afecta y se ve afectado por todas las otras áreas, la integración de proyectos.

Por lo tanto, como se ha explicado, el Jefe de Proyecto será el encargado de coordinar todas las áreas implicadas y organizar los tiempos de forma que todos los departamentos tengan claro sus objetivos particulares para alcanzar el objetivo común.



**Figura 41. Departamentos implicados en la Gestión de Proyectos**



# 3

## Cálculos

---



### 3 Cálculos

#### 3.1 Introducción

Los cálculos necesarios para el diseño de una subestación móvil son similares en muchos casos a los de las subestaciones convencionales con la diferencia de que en el caso de las móviles el número de elementos es menor por lo que los cálculos se ven simplificados. La gran característica de una subestación móvil es su adaptabilidad y flexibilidad por lo que los puntos de enganche a la red y el terreno sobre el que se va a implantar no son conocidos ya que no tendrá un destino único. El cliente encarga la subestación pensando en los posibles usos de la misma y él mismo pedirá la subestación con unas características de cortocircuito que previamente habrá dimensionado pensando en los posibles puntos de enganche en la red.

Será necesaria calcular la corriente nominal que circulará por la subestación en régimen permanente de cara a escoger el cable adecuado para soportar esta intensidad en cada parte del circuito.

Por otra parte, será necesario calcular las distancias eléctricas y de seguridad para realizar una correcta implantación de los equipos sobre las plataformas.

Por último será necesario elegir y diseñar el sistema de protección y control de acuerdo con las necesidades del cliente.

En cada plataforma se creará una red de puesta a tierra a la que se conectarán todos los equipos de forma que cuando esta se instale en un terreno se conecte esta puesta a tierra con la propia de la subestación convencional. Se calculará la sección de cable necesaria para esta puesta a tierra.

Para realizar estos cálculos y establecer la base teórica de los mismos nos hemos basado en el Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (MIE-RAT) [20].

#### 3.2 Datos de partida: Potencia instalada

Nuestra subestación contará con un transformador de potencia 110/13,8 kV de 15 MVA y regulación en carga en el lado de alta tensión.

Todos los cálculos serán realizados tomando la potencia total del sistema que será la potencia nominal del transformador con refrigeración OFAF, 15 MVA.

Por lo tanto nuestros datos de partida serán:

Potencia nominal	15 MVA
------------------	--------





### 3.3 Corrientes máximas de funcionamiento normal

#### 3.3.1 Posición de transformador de 110 kV

De cara a unir los equipos en esta parte de la subestación, el conductor empleado deberá ser capaz de soportar la intensidad nominal del transformador más un 20% por motivos de seguridad.

$$I_{max} = 1,2 \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} = 1,2 \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 94,754 \text{ A}$$

Donde el significado de cada variable es:

$I_{max}$  Corriente en régimen permanente

$S_N$  Potencia nominal del sistema

$U_N$  Tensión nominal del sistema

El conductor utilizado será un cable aéreo desnudo de aluminio-acero tipo LA 280 con sección de 281,1 mm<sup>2</sup>.

#### 3.3.2 Posición de transformador de 13,8 kV

En este caso tendrá que soportar corrientes más elevadas ya que la tensión es menor y, al igual que en el caso anterior, el cable se dimensionará para soportar un 20% más de corriente por motivos de seguridad.

$$I_{max} = 1,2 \frac{S_N}{\sqrt{3} \cdot U_N} = 1,2 \frac{15000}{\sqrt{3} \cdot 13,8} = 753,07 \text{ A}$$

Donde el significado de cada variable es:

$I_{max}$  Corriente en régimen permanente

$S_N$  Potencia nominal del sistema

$U_N$  Tensión nominal del sistema

En este caso se ha optado por utilizar cable de cobre aislado de media tensión (aparatado 2.6.3.8) con una sección de 150 mm<sup>2</sup>. Será necesario utilizar dos tiros por fase, ya que cada fase podrá soportar una corriente máxima en régimen permanente de 405 A.



### 3.4 Distancias eléctricas y distancias de seguridad

En esta subestación tendremos elementos aislados en SF<sub>6</sub> y elementos aislados en aire por lo que tendremos que diferenciar estos elementos para aplicar las distintas normativas. Los elementos aislados en SF<sub>6</sub> ya se encuentran encapsulados bajo envoltentes metálicas por lo que no es necesario respetar distancias especiales mientras que los elementos aislados en aire sí que deberán respetar unas distancias determinadas. En este apartado vamos a calcular las distancias en aire que deben guardar los distintos equipos y fases entre sí de cara a satisfacer los requerimientos impuestos por los niveles de aislamiento previamente seleccionados (distancias eléctricas) y también por las consideraciones de seguridad y accesibilidad a las instalaciones, sobre todo para los trabajos de operación y mantenimiento (distancias de seguridad).

Para el cálculo de las distancias eléctricas seguiremos la instrucción MIE-RAT 12: “Aislamiento” [20] así como la norma UNE-EN 61936-1: “Instalaciones eléctricas de tensión nominal superior a 1 kV en corriente alterna” y más en concreto la tabla 1 de dicha norma. Para el cálculo de las distancias de seguridad tendremos en cuenta la instrucción MIE-RAT 14: “Instalaciones eléctricas de interior” [20].

#### 3.4.1 Distancias eléctricas

En este apartado calcularemos las distancias en el aire entre elementos en tensión y entre éstos y estructuras metálicas puestas a tierra. En esta subestación tendremos varios equipos con salida en aire (bornas), por lo que deberemos ver qué distancia tendrán que respetar entre ellos.

Calcularemos primero la parte de alta tensión: en este lado tendremos una tensión de servicio de 110 kV y una tensión de aislamiento de 550 kV por lo que si vemos la tabla 1 de la norma UNE-EN 61936-1 encontramos que la distancia será d=1100 mm.

Table 1 – Minimum clearances in air – Voltage range I ( $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$ )

Voltage range	Nominal voltage of system	Highest voltage for equipment	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage <sup>a</sup>	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance, $N^c$	
	$U_n$ r.m.s.	$U_m$ r.m.s.	r.m.s.	1,2/50 $\mu$ s (peak value)	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	kV	mm	mm
	110	123	185 <sup>b</sup> 230	450 <u>550</u>	900 <u>1 100</u>	

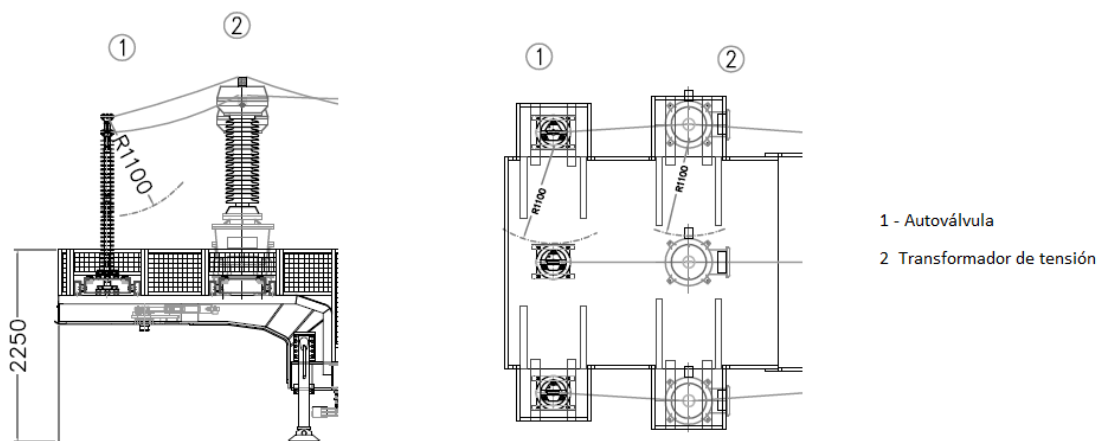
Figura 42. Distancia eléctrica de los elementos de la parte de alta tensión

Esta distancia tendrá que ser la distancia entre las autoválvulas y los transformadores de tensión así como entre las propias fases de los mismos. De cara a cumplir con estas distancias, tanto las autoválvulas como los TTs, irán situados sobre unas guías extraíbles que se desplegarán en el modo de operación. Entre los TTs y las



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

bornas de la hypact también se tendrá que respetar esta distancia. Lo mismo pasa en el tráiler 2 con las autoválvulas y las bornas del transformador de potencia y sus propias fases entre sí. En la conexión de los tráilers 1 y 2 (salida de la hypact y autoválvulas del tráiler 2) se respetará también esta distancia aunque en este caso será más fácil ya que solo se necesitará colocar las plataformas de manera adecuada. En la figura 43 se puede apreciar esta distancia tanto entre el transformador de tensión y la autoválvula así como entre las distintas fases (con las guías extraíbles para no exceder las dimensiones del tráiler y, a la vez poder respetar estas distancias).



**Figura 43. Ejemplo distancias eléctricas entre equipos y fases**

Ahora calcularemos la parte de media tensión: en este lado tenemos una tensión nominal de 13,8 kV y una tensión de aislamiento de 95 kV. Estas tensiones son muy pequeñas por lo que las distancias serán mucho más pequeñas y la separación que tendremos que respetar será de 160 mm.

**Table 1 – Minimum clearances in air – Voltage range I ( $1 \text{ kV} < U_m \leq 245 \text{ kV}$ )**

Voltage range	Nominal voltage of system	Highest voltage for equipment	Rated short-duration power-frequency withstand voltage	Rated lightning impulse withstand voltage <sup>a</sup>	Minimum phase-to-earth and phase-to-phase clearance, $N^c$	
	$U_n$ r.m.s.	$U_m$ r.m.s.	r.m.s.	1,2/50 $\mu$ s (peak value)	Indoor installations	Outdoor installations
	kV	kV	kV	kV	mm	mm
	15	17,5	38	75 <u>95</u>	120 <b>160</b>	160 <b>160</b>

**Figura 44. Distancia eléctrica de los elementos de la parte de media tensión**

Los elementos como las celdas de media tensión y los distintos armarios se encuentran ya aislados por lo que en cuanto a distancias eléctricas no tendrán ninguna



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

restricción externa. El que sí que tendrá que cumplir esta distancia será el transformador de servicios auxiliares con respecto a la caseta que lo protege.

De acuerdo con la instrucción MIE-RAT 13 [20], para los equipos e instalaciones en que no se realicen ensayos en correspondencia con un nivel de aislamiento se deberán respetar las distancias indicadas en la siguiente tabla. Estas distancias se refieren a distancias en el aire sin tener en consideración los caminos de descarga por contorno del aislador.

TENSION SOPORTADA NOMINAL A LOS IMPULSOS TIPO RAYO (kV cresta)	DISTANCIA MÍNIMA FASE-TIERRA EN EL AIRE (cm)
20	6
40	6
60	9
75	12
<u>95</u>	<u>16</u>
125	22
145	27
170	32
250	48
325	63
450	90
<u>550</u>	<u>110</u>
650	130
750	150

**Figura 45. Distancia eléctrica entre fases y elementos puestos a tierra**

Todas las distancias mencionadas en este apartado son distancias mínimas pero, si tenemos en cuenta que en una subestación móvil el espacio es una de las mayores limitaciones, veremos que serán las distancias aplicadas ya que en estas subestaciones todo se diseña al milímetro.

### 3.4.2 Distancias de seguridad

Dentro del carrozado del tráiler 3 tendremos unos pasillos que deberán tener un ancho mínimo para permitir la fácil maniobra e inspección de la subestación, así como el transporte de equipos empleados para operación y mantenimiento y el libre movimiento de personas por el mismo.

Para conseguir estos datos usaremos la instrucción MIE-RAT 14 [20], de donde obtenemos la anchura mínima:



Tipo de pasillo	Anchura del pasillo (m)
Pasillos de maniobra con elementos en tensión a un solo lado	1
Pasillos de maniobra con elementos en tensión a ambos lados	1,2
Pasillos de inspección con elementos en tensión a un solo lado	0,8
Pasillos de inspección con elementos de tensión a ambos lados	1

**Tabla 6. Distancias mínimas en pasillos**

En nuestro caso, de todos los elementos que nos podemos encontrar en el tráiler 3 serán de inspección salvo el armario de protección y control, las cabinas de media tensión y el armario de AC/DC que serán de maniobra. En el resto de equipos no está prevista ninguna maniobra salvo para inspección y mantenimiento.

### **3.5 Ajuste y coordinación de los equipos de protección y control**

Dos de los parámetros más importantes a la hora de caracterizar los equipos de protección y control serán el ajuste y la coordinación de las protecciones. El ajuste de la protección significa definir los límites o umbrales de su característica de operación para detectar las fallas o los funcionamientos anormales en el sistema y en los equipos. La coordinación de una protección significa definir los tiempos de operación de la protección para permitir la actuación debidamente priorizada de los relés de protección, es decir, que cada uno actúe el tiempo necesario y en el momento adecuado. Se prioriza que relé actúa primero, cual a continuación y así hasta tener todo el sistema coordinado [21].

A continuación se realizará un estudio teórico para mostrar cómo se realizará el ajuste de las protecciones de sobre corriente y de las protecciones diferenciales.

#### **3.5.1 Ajuste de las protecciones de sobre corriente**

De acuerdo con el “IEEE Standard Electric Power System Device function Numbers, Acronyms, and Contact Designation” las funciones que miden la sobre corriente serán la 50/51 y 50N/51N.

Como ya se ha explicado anteriormente, estas protecciones miden permanentemente la corriente de cada fase para detectar posibles sobre corrientes que se pueden producir en un cortocircuito. El tiempo de actuación de este tipo de protección es función del valor de la corriente y puede ser:



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

- De tiempo definido en el caso de que se supere un umbral previamente fijado. Puede ser de operación instantánea (función 50) o temporizada (función 51)
- De tiempo inverso en el caso de que su operación dependa del tiempo según una función exponencial dada por la siguiente expresión:

$$t = TMS \cdot \left( \frac{K}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha} + C \right)$$

Donde el significado de cada variable es:

$t$	Tiempo de actuación del relé (variable independiente)
$I$	Corriente que mide el relé (variable independiente)
$\alpha$	Parámetro que define la curva característica de operación del relé
$I_s$	Corriente de arranque del relé
$TMS$	Constante de ajuste del relé
$K$	Constante de ajuste del relé
$C$	Constante de ajuste del relé

Para el ajuste del relé será necesario definir algunas de las variables anteriores:

### Para la función 51

- La corriente de arranque del relé ( $I_s$ ) que es el umbral de la corriente de operación del relé
- La constante de ajuste del relé ( $TMS$ ) que es el parámetro que permite definir los tiempos de operación según su curva característica

### Para la función 50

- La corriente de arranque del relé ( $I_s$ ) que es el umbral de la corriente de operación del relé
- A pesar de ser una función instantánea es posible definir una temporización de su actuación cuando se considere conveniente

En la figura 54 se puede observar el ajuste de un relé de sobre corriente de tiempo definido con dos umbrales de operación (50/51) y otro de tiempo inverso (51) combinado con la función instantánea (50).

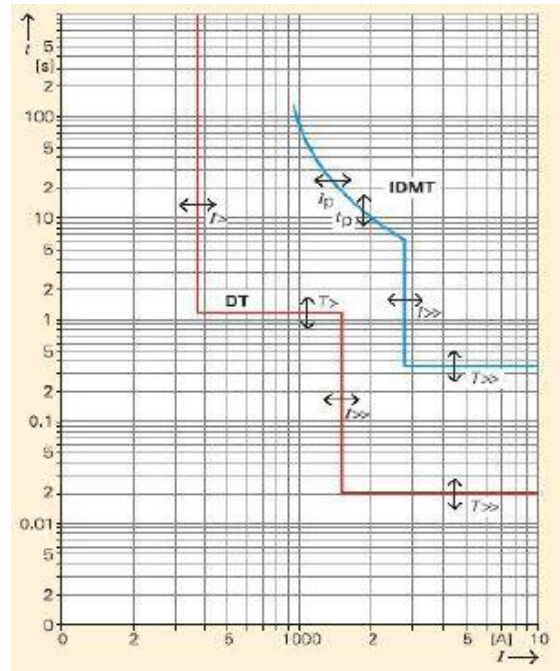


Figura 46. Características de operación de los relés de sobre corriente

Las constantes de ajuste del relé son fijadas por la norma en función de la característica de tiempo inverso tal y como se muestra en la tabla 7:

Característica		IEC/BS			ANSI/IEEE		
		$\alpha$	K	C	$\alpha$	K	C
Tiempo definido		-	0	1			
Normal inverso	NI	0,02	0,14	0	2,0938	8,9341	0,17966
Muy inverso	VI	1	13,5	0	2	3,922	0,09852
Extremadamente Inverso	EI	2	80	0	2	5,64	0,02434
Inverso de largo tiempo	LI	1	120	0	2	5,6143	2,18592

Tabla 7. Relés de sobre corriente

### 3.5.2 Ajuste de las protecciones diferenciales

La protección diferencial está definida por la función 87 y su ajuste será diferente en ambos casos.

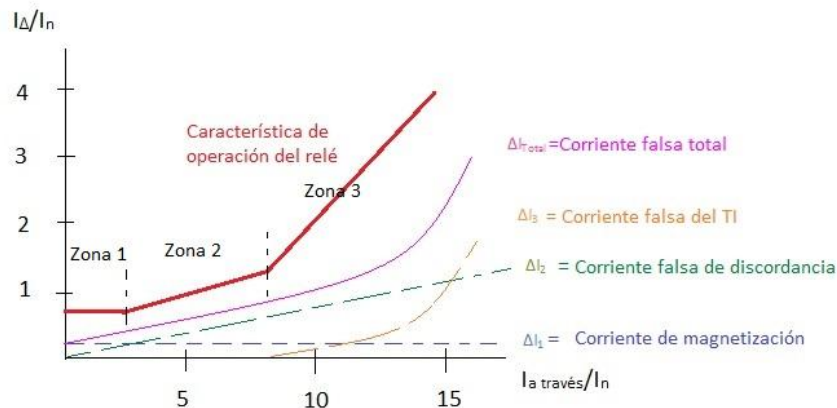
La protección diferencial, como se ha explicado anteriormente, funciona calculando la diferencia entre las corrientes que se miden en dos puntos distintos de una determinada zona. El problema es que hay veces que estas diferencias no deben ser





tenidas en cuenta como faltas, y estas son: las corrientes de magnetización del elemento protegido ya que es una cantidad constante, el error debido a la saturación de los transformadores de corriente, despreciable con pequeñas corrientes pero que con corrientes elevadas se hace mayor y el error de relación en los transformadores de corriente ya que es una cantidad casi proporcional a los valores de la corriente.

Por lo tanto, la corriente diferencial que no implica falla será la suma de estas tres componentes y su cálculo establecerá el ajuste del relé diferencial para que no efectúe una falsa operación. Esto se puede observar en la figura 47:



**Figura 47. Característica de operación de la protección diferencial**

En la figura 47 se observa que la característica de operación tiene tres zonas distintas de funcionamiento:

- La zona 1 que corresponde a una mínima corriente diferencial que es constante
- La zona 2 que corresponde a una característica con pendiente que tendrá que considerar las diferencias de relación de transformación de los transformadores de corriente y potencia
- La zona 3 que debe permitir evitar cualquier error como consecuencia de una posible saturación de los transformadores de corriente

*Nota: Los ajustes de los relés serán calculados por el cliente con una herramienta informática que modele su propia red.*

### 3.5.3 Coordinación de protecciones de sobre corriente

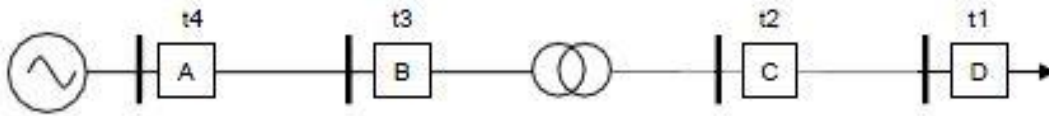
La coordinación de relés debe aislar la sección con la falla dejando sano el resto del sistema y puede ser realizada utilizando tiempo, corriente o combinando ambos.

En el primero de los métodos a cada relé se le dará un ajuste de tiempo de manera que el interruptor más cercano a la falla opere primero. Por lo tanto el medio de discriminación será el retardo de tiempo y será independiente del nivel de corriente. En la figura 48 se puede observar un diagrama con cuatro interruptores con su correspondiente relé. En este sistema se tiene que cumplir que  $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$  y que la



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

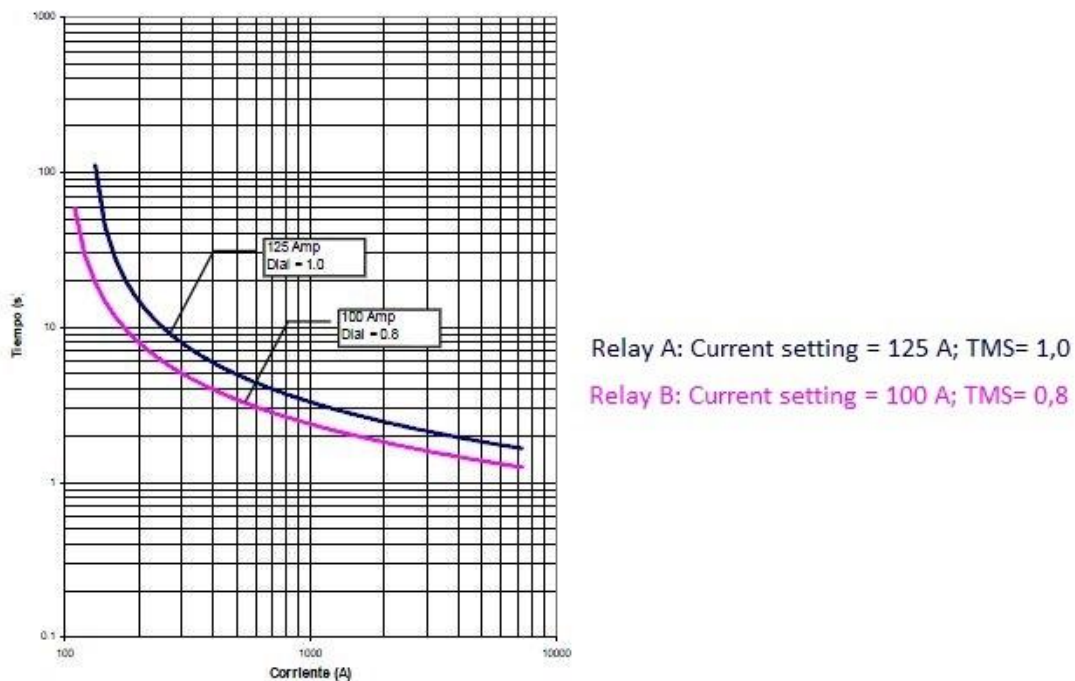
diferencia entre tiempos sea lo suficientemente grande para asegurar que el relé aguas arriba no opere antes de que se haya disparado el interruptor en el sitio de falla. De esta manera D se disparará primero en caso de falla en la carga y el disparo más largo se producirá para faltas cercanas a la fuente, siendo esta su gran desventaja ya que en la fuente es donde se produce el nivel de corto mas grande.



**Figura 48. Coordinaciones de protecciones de sobre corriente**

En el segundo método, los relés se ajustarán para operar a valores apropiados de corrientes de tal manera que solo el relé cercano a la falta dispare su interruptor. Esto es necesario ya que el valor de la corriente varía debido a los diferentes valores de impedancia entre la fuente y la falta. La desventaja de este método es que es necesaria la existencia de una impedancia apreciable entre dos relés para que no estén configurados para corrientes iguales.

Por estas desventajas se ha desarrollado el tercer método, que combina lo mejor de ambos y ha evolucionado la característica de los relés de sobre corriente de tiempo inverso, donde el tiempo de operación es inversamente proporcional al nivel de corriente de falla. En la figura 49 se representa la característica de dos relés con sus ajustes de corriente y tiempo y es posible observar como a medida que la corriente de falta se hace mayor los tiempos son más rápidos (menores).



**Figura 49. Coordinación de dos relés de sobre corriente**



Las curvas características de estos relés en función de sus tiempos fueron definidas en el apartado anterior de ajustes.

Todos los tiempos de coordinación antes mencionados marcarán la diferencia de tiempos entre las protecciones locales y la protección remota o de respaldo correspondiente y, para ser eficiente, deberá ser de al menos 0,2-0,5 segundos según la tecnología.

### 3.6 Puesta a Tierra

Como se ha explicado en la introducción, la puesta a tierra de una subestación móvil no podrá ser calculada de la misma manera que una subestación convencional al no tener datos acerca del punto de enganche a la red y del terreno sobre el que se implantará.

En este caso se creará una malla de puesta a tierra en cada plataforma a la que se conectarán todos los equipos y llegado el momento de su uso esta malla se conectará a la malla de la subestación convencional donde se sitúe. La malla de cada plataforma se realizará con conductor de cobre cuya sección se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$S_{min}(mm^2) = \frac{1000 \cdot I_s \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{9,64 \cdot \frac{c \cdot g}{P \cdot a} \cdot \log(1 + a \cdot (T_g - T_a))}}$$

Donde el significado de cada variable es:

$I_s$	Corriente de cortocircuito en kA
$t$	Duración del cortocircuito en s
$c$	Calor específico del cobre
$g$	Peso específico del cobre
$P$	Resistividad del cobre a $T_a$
$a$	Coefficiente
$T_g$	Temperatura final del conductor
$T_a$	Temperatura inicial del conductor



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

Por lo tanto la aparamenta de alta tensión será puesta a tierra con un conductor de cobre de una sección distinta a la de la aparamenta de media tensión:

- Alta tensión

$$S_{min}(mm^2) = \frac{1000 \cdot 40 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{9,64 \cdot \frac{0,0925 \cdot 8,9}{0,019 \cdot 0,004} \cdot \log(1 + 0,004 \cdot (300 - 40))}} = 385,3$$

Para la puesta a tierra de la aparamenta de alta tensión se elegirá un conductor de cobre de sección 400 mm<sup>2</sup> ya que es el siguiente valor normalizado superior a dicha sección.

- Media tensión

$$S_{min}(mm^2) = \frac{1000 \cdot 25 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{9,64 \cdot \frac{0,0925 \cdot 8,9}{0,019 \cdot 0,004} \cdot \log(1 + 0,004 \cdot (300 - 40))}} = 139$$

La aparamenta de media tensión será puesta a tierra utilizando un conductor de cobre de 150 mm<sup>2</sup> de sección.



# 4

# Presupuesto

---



## 4 Presupuesto

### 4.1 Introducción

En este apartado se hará un desglose del presupuesto para la subestación. Como se ha ido explicado a lo largo del proyecto al ser una subestación móvil las partidas que conforman el presupuesto también serán distintas en algunos puntos a las de una subestación convencional. El desglose del presupuesto que se mostrará a continuación se dividirá en las siguientes partidas:

- El coste de cada tráiler con sus correspondientes equipos.
- El coste del montaje.
- El coste de ingeniería, puesta en servicio, gestión del proyecto, etc.
- El coste del transporte para trasladar la subestación a Colombia.

De cara a las distintas partidas del presupuesto es importante tener en cuenta que la subestación móvil se monta y se prueba en España, de tal manera que se envía a Colombia prácticamente lista para energizar.

### 4.2 Presupuesto de las plataformas y sus equipos

#### 4.2.1 Semirremolque 1

Equipo	Nº unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Plataforma	1	16.200	16.200
Módulo híbrido HYpact	1	79.647	79.647
Pararrayos	3	1.361	4.083
Equipo tratamiento SF <sub>6</sub> DILO	1	14.400	14.400
Transformadores de tensión	3	6188	18.564
Plataforma giratoria	1	9.656	9.656
Tornillería*	1	1.300	1.300
Guías extraíbles y valla perimetral	1	8.510	8.510
Material para puesta a tierra*	1	2.600	2.600
Racores y cable AT*	1	3.240	3.240

Tabla 8. Presupuesto Semirremolque 1

**TOTAL** 158.200 €



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

\* El material de puesta a tierra consiste en cable de cobre de sección 400 mm<sup>2</sup> y para el que se estiman 40m e incluye en esta partida el del semirremolque 2. Así mismo, las partidas de tornillería, racores y cable de alta tensión están incluidas en este semirremolque pero son tanto para el 1 como para el 2.

### 4.2.2 Semirremolque 2

Equipos	Nº unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Plataforma	1	59.167	59.167
Pararrayos	3	1.361	4.083
Transformador de potencia	1	402.000	402.000

Tabla 9. Presupuesto Semirremolque 2

**TOTAL** 465.250 €

### 4.2.3 Semirremolque 3

Equipos	Nº unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
Plataforma	1	18.397	18.397
Carrozado	1	72.300	72.300
Celdas de media tensión	1	120.067	120.067
Armario distribución AC/DC	1	9.088	9.088
Equipo rectificador/batería	1	8.580	8.580
Equipo protección y control	1	44.400	44.400
Armario protección y control	1	11.048	11.048
Transformador de SSAA	1	7.461	7.461
Cable media tensión	1	2.165	2.165
Tornillería	1	1.300	1.300
Material puesta a tierra	1	2.600	2.600
Cable Baja tensión	1	16.562	16.562
Conectores MT	1	2.080	2.080

Tabla 10. Presupuesto Semirremolque 3

**TOTAL** 316.048 €





## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

*Nota:*

- La parte de protección y control está dividida en dos partidas porque se adquieren por separado, es decir, por un lado los equipos y por otro el armario donde incluirlos
- La partida de cable de baja tensión incluye todo el cable de este tipo necesario para conectar todos los equipos de la subestación móvil

Por lo tanto, el precio total de la subestación móvil en lo que a equipo se refiere asciende a:

Equipo	Precio (€)
Semirremolque 1	158.200
Semirremolque 2	465.250
Semirremolque 3	316.048

**Tabla 11. Presupuesto equipos**

**TOTAL** 939.498 €

### 4.3 Presupuesto montaje

El montaje incluye toda la mano de obra necesaria para instalar todos los equipos sobre las plataformas, así como el cableado y todas las conexiones. Después del montaje la subestación debe estar lista para ser sometida a las pruebas correspondientes.

En cuanto al material y los equipos necesarios para el montaje se ha tenido en cuenta el siguiente:

- Una grúa durante 10 días, a 53 €/hora y trabajando 8 h/día
- Tres operarios a 25 €/hora durante 1 mes trabajando 8 h/día
- Mobiliario de oficina durante 8 semanas que incluye: caseta, mobiliario y vestuario y un sanitario químico
- Contenedores para madera y plástico así como pequeño material auxiliar

**TOTAL** 55.261 €

### 4.4 Presupuesto Ingeniería

Antes de desglosar el presupuesto de esta parte del proyecto se explicará las funciones generales de cada partida:

- Ingeniería Eléctrica: Incluye todos los trabajos necesarios por el departamento de ingeniería así como cálculo de ajustes, parametrización, etc. También incluye todas



## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

las pruebas funcionales de los distintos equipos así como de la subestación completa.

- Ingeniería Electromecánica: Implica el trabajo que se tendrá que hacer a nivel de planos y cálculos de diseños, etc.
- Project Management: Hace referencia al Jefe de Proyecto y a las horas y carga de trabajo que le supondrá este trabajo a lo largo del mismo, es decir, el seguimiento del proyecto.
- Viajes JP, OT y Lanzamiento: Esta partida incluye dos viajes de tres días JP y OT y/o JP y Ofertas; reunión para el lanzamiento del proyecto y entrega en sitio.

Concepto	Precio (€)
Ingeniería Eléctrica	39.526
Ingeniería Electromecánica	19.400
Project Management	31.820
Viajes JP, OT y Lanzamiento	11.500

Tabla 12. Presupuesto Ingeniería

**TOTAL** 102.246 €

### 4.5 Presupuesto Transporte

Como se dijo al principio de este apartado, el montaje de la subestación móvil se lleva a cabo en Madrid por lo que es necesario que todos los equipos sean transportados allí. Una vez montada y probada la subestación será trasladada en barco hasta Colombia donde será entregada al cliente.

Concepto	Precio (€)
Transporte equipos a Madrid	28.350
Transporte Subestación a Colombia	85.840

Tabla 13. Presupuesto Transporte

**TOTAL** 114.190 €



#### 4.6 Presupuesto Total

A continuación se calculará el presupuesto total de la subestación juntando los distintos desgloses realizados en los apartados anteriores:

Concepto	Precio (€)
Equipos	939.498
Montaje	55.261
Ingeniería	102.246
Transporte	114.190

Tabla 14. Presupuesto Total

**TOTAL** 1.211.195 €



# 5

# Conclusiones

---



### 5 Conclusiones

#### 5.1 Conclusiones del Proyecto

Una vez concluida la elaboración de este Proyecto Fin de Carrera creo que puedo extraer una gran cantidad de aspectos positivos que he aprendido a lo largo del mismo y que, sin duda, me servirán de cara al futuro.

Cuando me surgió la oportunidad de realizar este proyecto yo tenía un conocimiento muy básico y limitado de subestaciones eléctricas y, por supuesto, nunca había escuchado hablar de la subestaciones eléctricas móviles. De primeras, la imagen de una subestación que había en mi cabeza era la de las grandes subestaciones que se ven en las carreteras o en las afueras de las ciudades así que, lo primero que captó mi atención, fue el hecho de cómo meter todos esos equipos en un tráiler para hacerla móvil. Poco a poco me fui introduciendo en el mundo de las subestaciones eléctricas móviles y sus posibles aplicaciones, lo que sin duda me ha parecido algo muy interesante y con gran futuro.

Como se ha podido observar a lo largo del proyecto, las subestaciones móviles están pensadas para proporcionar electricidad durante un periodo de tiempo determinado, de manera que nunca se interrumpa el servicio eléctrico de forma prolongada ya sea por averías o por trabajos de mantenimiento. Sin duda este concepto define lo novedoso de estas subestaciones y, por lo que yo he aprendido y observado durante este tiempo, en los últimos años todas las compañías eléctricas, tanto nacionales como internacionales, han ido adquiriendo este tipo de subestaciones para mejorar su servicio.

El otro concepto que yo remarcaría como punto fuerte de estas subestaciones es el de flexibilidad. Estas subestaciones pueden contener todo tipo de aparamenta, al igual que las convencionales, con la gran ventaja de que se diseñan específicamente para cada caso, de forma que, según las necesidades, se utilizará un tipo de tecnología u otra y se ubicará en el número de tráileres necesarios para facilitar el transporte de manera que esté en el lugar necesario lo antes posible. Todo esto sin olvidar que la flexibilidad implica en este caso independencia, es decir, que los tráileres pueden ser modulares de forma que para determinadas averías solo necesitemos una parte de la subestación (un tráiler) y para otros trabajos utilicemos la subestación entera (todos los tráileres y equipos). Este funcionamiento independiente aumenta sin duda su rentabilidad.

Por lo tanto creo que, gracias a este proyecto he podido ver de primera mano todo lo que implica la realización de un proyecto técnico y, además, he aprendido sobre subestaciones eléctricas, y más específicamente, móviles y espero poder ampliar mis conocimientos en el futuro. Además, espero que este proyecto también sirva para dar a conocer un poco más las subestaciones móviles, tanto a mis compañeros como a la gente interesada, ya que creo que es un tema desconocido en el ámbito universitario.



# 6

## Referencias

---



## 6 Referencias

- [1] [http://www.endesaeduca.com/Endesa\\_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/xvi.-las-subestaciones-electricas](http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-transporte-de-electricidad/xvi.-las-subestaciones-electricas)
- [2] <http://luisguillermovelezalvarez.blogspot.com.es/2011/09/breve-historia-del-sector-electrico.html>
- [3] <https://sites.google.com/site/regulacionsectorelectrico/colombia>
- [4] *Informe mensual de variables de generación y del mercado eléctrico Colombiano (Marzo 2013)*, UPME (Unidad de Planeación minero energética)
- [5] Presentacion “Proyectos Subestaciones Llave en Mano” Unidad de Soluciones, Alstom Grid S.A. (España)
- [6] [http://www.docentes.utonet.edu.bo/rherrerav/wp-content/uploads/Gis\\_SE.pdf](http://www.docentes.utonet.edu.bo/rherrerav/wp-content/uploads/Gis_SE.pdf)
- [7] Catálogo “Hypact: Hybrid compact switchgear assembly”
- [8] Enrique Ras, *Transformadores de potencia, de medida y de protección*, Marcombo S.A., 1991
- [9] [http://www.uib.es/depart/dfs/GTE/education/industrial/con\\_maq\\_electriques/teoria/Teoria%20Oviedo/Primer%20Parcial/Presentaciones%20en%20formato%20PDF/Tema4.pdf](http://www.uib.es/depart/dfs/GTE/education/industrial/con_maq_electriques/teoria/Teoria%20Oviedo/Primer%20Parcial/Presentaciones%20en%20formato%20PDF/Tema4.pdf)
- [10] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com.es/2009/09/conceptos-sobre-celdas-de-mt.html>
- [11] <http://www.mailxmail.com/curso-energia-centros-transformacion/>
- [12] [https://www.coelce.com.br/media/46607/e-se-008%20\\_celdas%20mt\\_rev61.pdf](https://www.coelce.com.br/media/46607/e-se-008%20_celdas%20mt_rev61.pdf)
- [13] <http://electricidad-viatger.blogspot.com.es/2010/01/proteccion-contrasobretensiones-en.html>
- [14] <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/moduloii.pdf>
- [15] <http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/esep/material/Curso%20estabilidad,%20Proteccion es.pdf>
- [16] <http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistemas-Auxiliares-Subestacion-Elctrica/4366443.html>
- [17] <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com.es/2009/10/sala-de-baterias-en-una-subestacion.html>
- [18] Directive 97/23/EC of the European Parliament and of the Council of 29 May 1997 on the approximation of the laws of the Member States concerning pressure equipment





## DISEÑO DE UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA MÓVIL

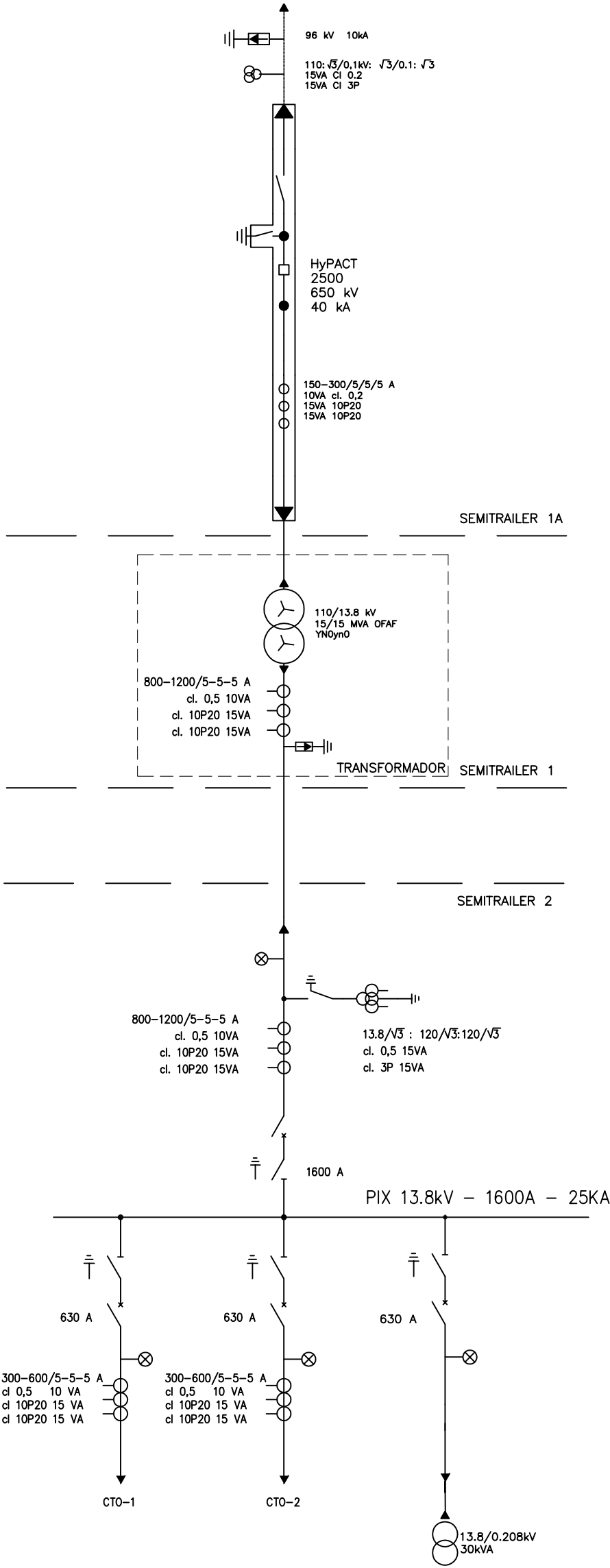
- [19] *Tenders and Project Management Handbook*, de Alstom Grid
- [20] Reglamento sobre centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación (MIE-RAT)
- [21] [http://www.coes.org.pe/coes/evaluacion/estudios/Criterios\\_Ajuste\\_CP\\_Rev0.pdf](http://www.coes.org.pe/coes/evaluacion/estudios/Criterios_Ajuste_CP_Rev0.pdf)



## ANEXO 1: PLANOS

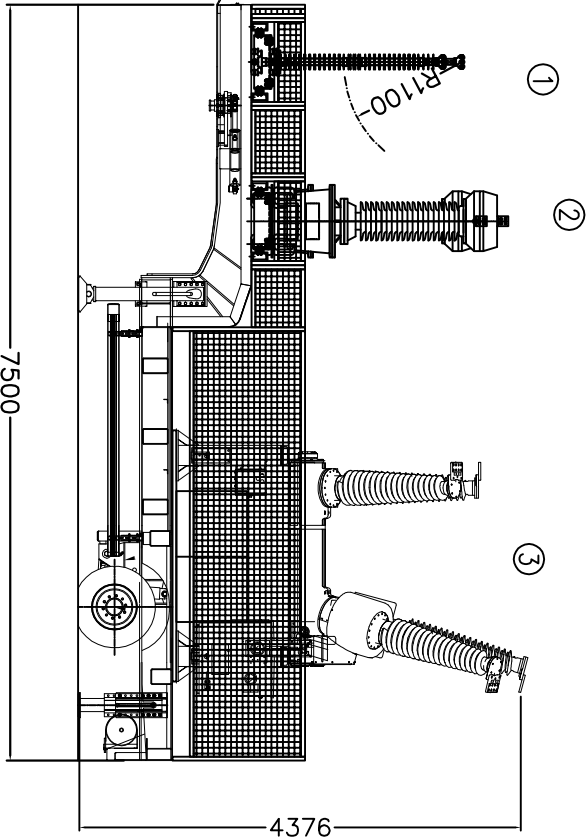
### Índice de Planos

1. Diagrama Unifilar
2. Semirremolque 1 – 110 kV
3. Semirremolque 2 – Trafo 15 MVA
4. Semirremolque 3 – Media Tensión
5. Implantación General Alta Tensión

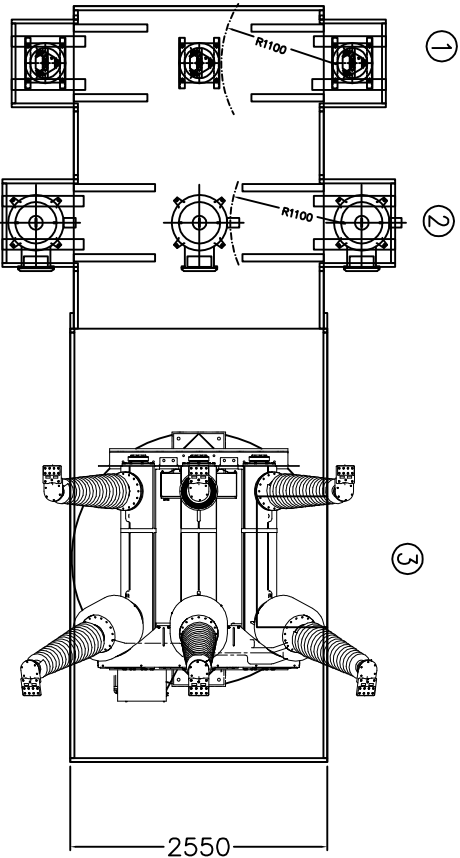


TÍTULO	SE MÓVIL	PLANO N°
PROPIETARIO	A.BAMONDE	01
DOCUMENTO:	A3	F:
ESCALA	N/A	PLANO
FECHA	OCTUBRE 2013	
Diagrama Unifilar		





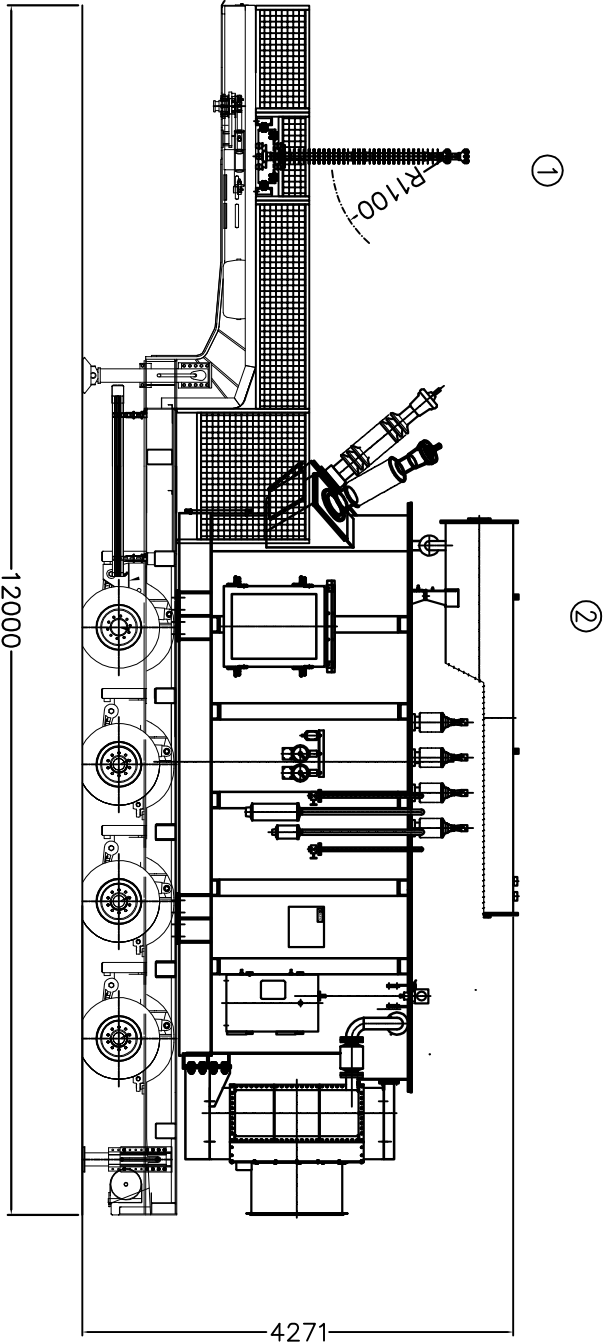
ALZADO



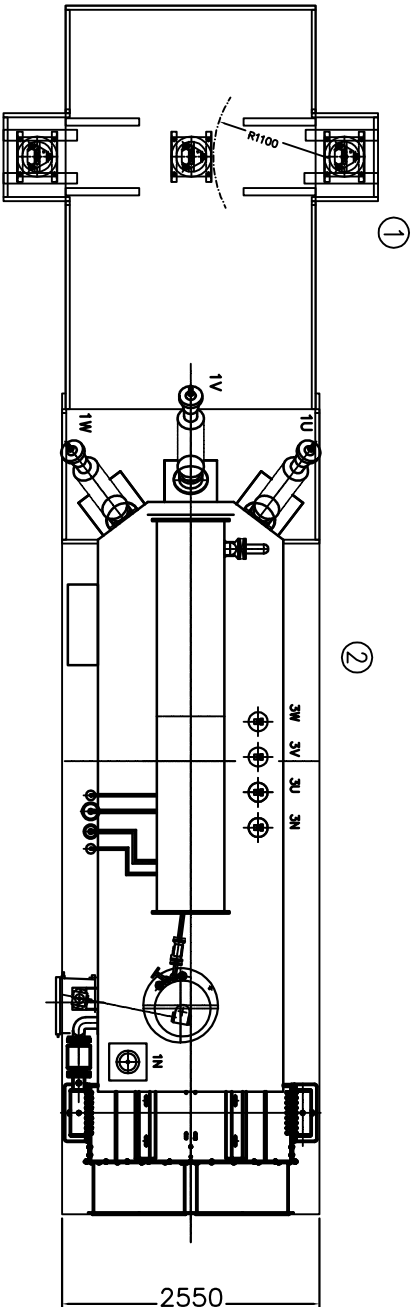
PLANTA

- 1.- Pararrayos
- 2.- Trafo de Tensión
- 3.- Hypact

TÍTULO		SE MÓVIL	PLANO N°
		110/13,8 kV 15 MVA	
PROPIETARIO		A.BAMONDE	02
DOCUMENTO		A3	
ESCALA		1:75	F:
FECHA		OCTUBRE 2013	
		Semirremolque 1 - 110 kV	




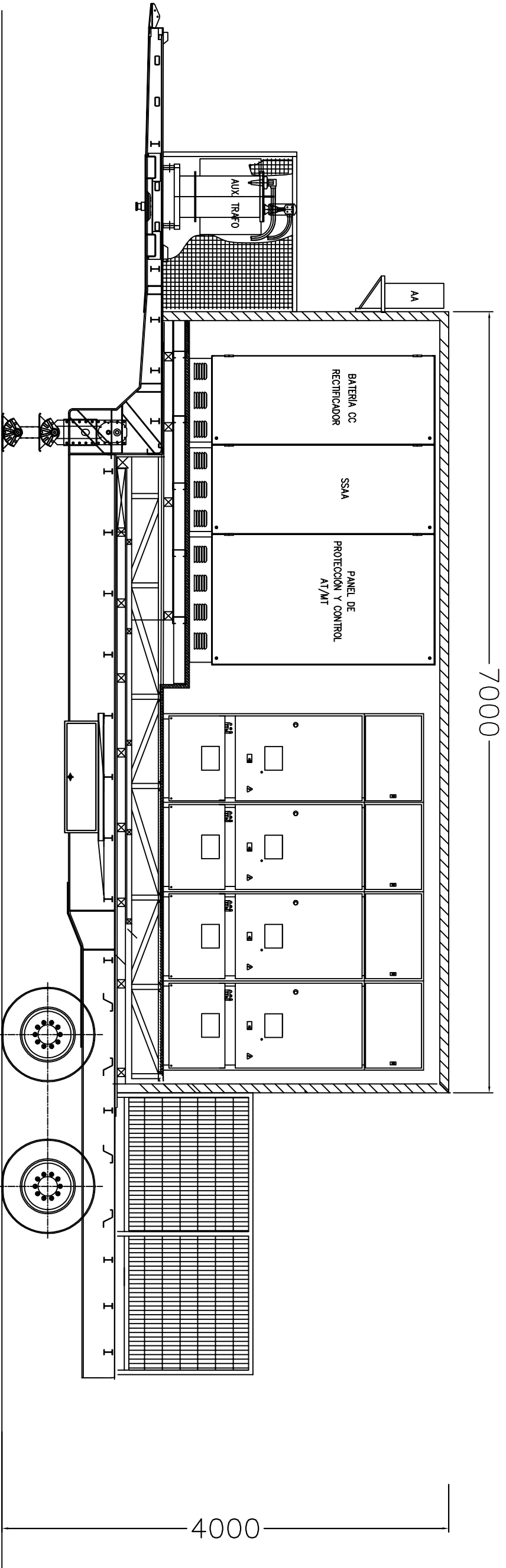
ALZADO



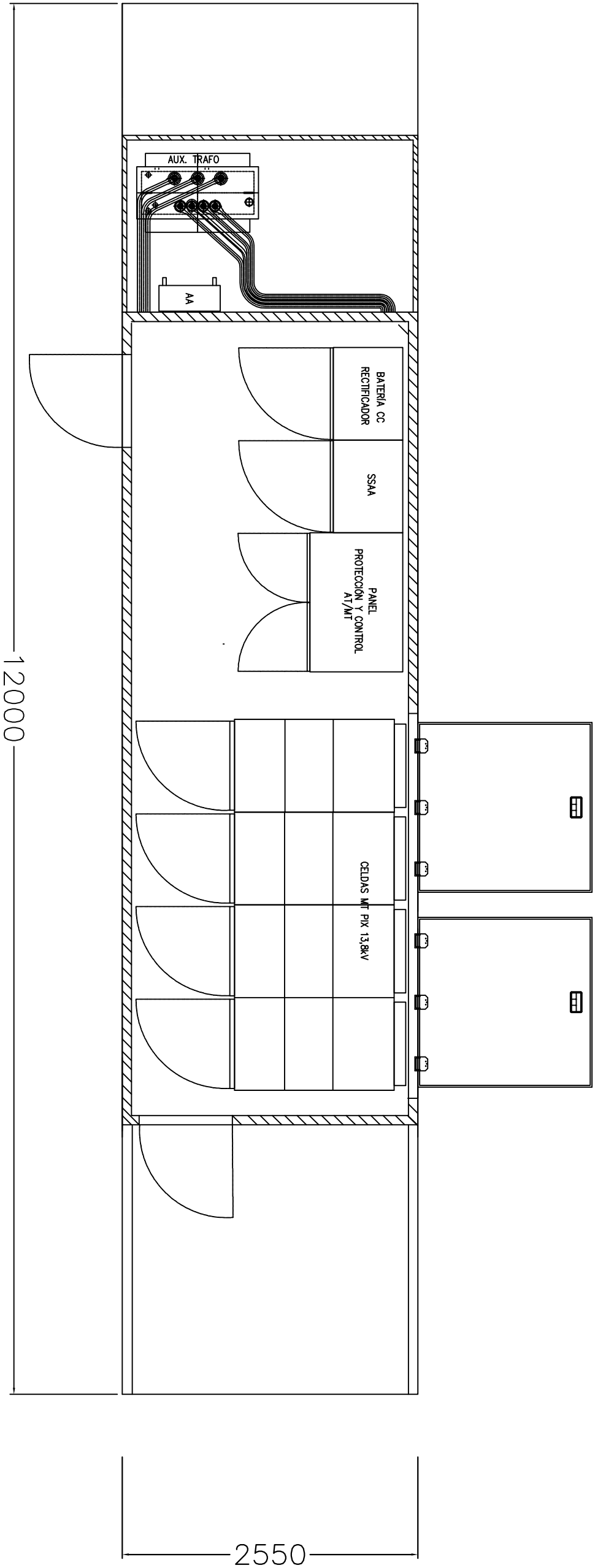
PLANTA

- 1.- Pararrayos
- 2.- Transformador de Potencia

TÍTULO		SE MÓVIL 110/13,8 kV 15 MVA	PLANO N°  03
PROPIETARIO		A.BAMONDE	
DOCUMENTO		A3	F:
ESCALA	1:75	PLANO	
FECHA		Semirremolque 2 - Trafo 15 MVA	
OCTUBRE 2013			



ALZADO



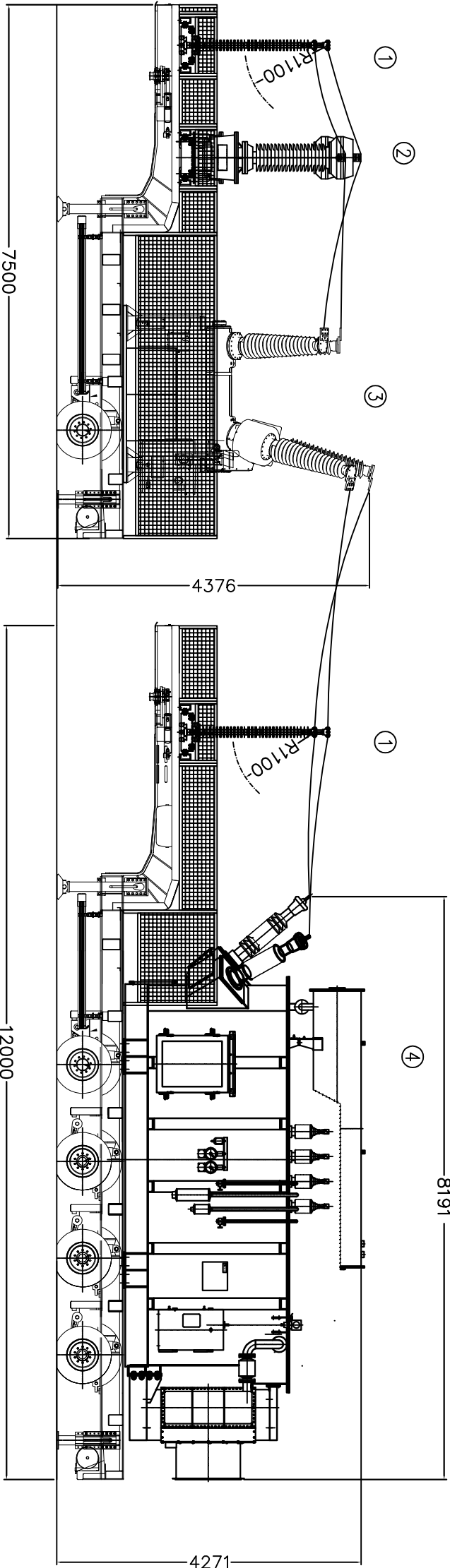
PLANTA

TÍTULO		SE MÓVIL	PLANO N°
110/13,8 KV 15 MVA			
PROPIETARIO		A.BAMONDE	
DOCUMENTO:		A3	F:
ESCALA		1:75	
FECHA		OCTUBRE 2013	
PLANO		Semirremolque 3 - MT	
			04

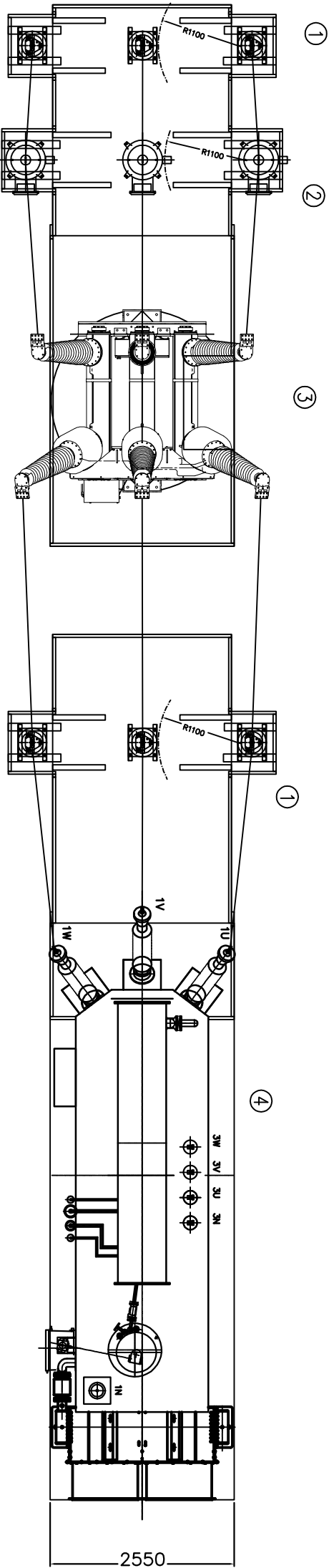


Este documento y cualquier información incluida en él son confidenciales y tienen derechos de reproducción y no podrán ser reproducidos, revelados, prestados, copiados o usados para ningún propósito sin previo permiso por escrito.

This document and any information or descriptive matter set out in are confidential and copyright property and must not be disclosed, loaned, copied or used for any purpose whatsoever without prior written permission.



ALZADO



PLANTA

- 1.- Pararrayos
- 2.- Trafo de Tensión
- 3.- Hypact
- 4.- Trafo de Potencia

TÍTULO	SE MÓVIL 110/13,8 kV 15 MVA	PLANO N°
PROPIETARIO	A.BAMONDE	05
DOCUMENTO	A3	F:
ESCALA	1:75	PLANO
FECHA	OCTUBRE 2013	Implantación General AT







## ANEXO 2: CATÁLOGOS

### Índice de Catálogos

1. Módulo Híbrido “HYpact”
2. Transformadores de tensión inductivos
3. Micom Alstom P642, P643, P645
4. Micom Alstom P14X
5. Micom Alstom C264

# HYpact

Hybrid compact switchgear assembly



GRID |

*We are shaping the future*

**ALSTOM**

## About Alstom Grid

Alstom Grid, part of the Alstom Group, delivers transmission solutions worldwide to utility and large industrial customers that have the need for smarter, more stable, more efficient and more environmentally-friendly electrical grids.

Alstom is a global leader in the world of power generation, power transmission and rail infrastructure. It sets the benchmarks for innovative and environmentally-friendly technologies. Alstom powers the fastest trains and the highest capacity automated metro in the world, providing turnkey integrated power plant solutions and associated services for a wide variety of energy sources, including hydro, nuclear, gas, coal and wind. Alstom also offers a wide range of solutions for power transmission, with a focus on smart grids. The Group employs 92,600 people in around 100 countries (in March 2012), with sales of 19,9 billion\* in 2011/2012.

\*Proforma figures



**HYpact: Designed and created for savings**



## Why compact switchgear?

In an effort to reduce space and costs, power network managers are constantly seeking new solutions for their substations. Alstom Grid, master of both SF<sub>6</sub> and air insulation technologies, offers you the advantages of both in an innovative and compact hybrid product: HYpact.

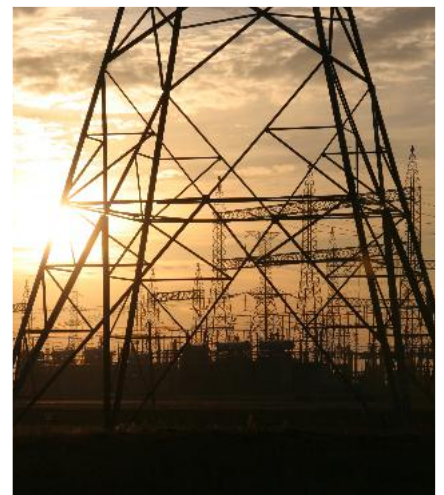
HYpact is a range of compact switchgear according to IEC 62271-205 consisting of circuit-breakers, disconnectors and earthing switches. Current and voltage transformers as well as cable connectors can be added. Its modular design allows for a large variety of different layout configurations.

HYpact offers more than just space savings. There are also important economic advantages to be taken into consideration: reduced space requirements are achieved by combining all the breaking and disconnecting functions into a single unit, also reducing civil works expenses. This unit is also easy to transport and install, reducing engineering costs to a minimum.

Thanks to the full SF<sub>6</sub> encapsulation, maintenance is simple and required at longer intervals compared to other switchgear designs.

The encapsulated design also increases operational reliability and safety under very demanding environmental conditions. HYpact is especially suited for polluted environments and under extreme climates.

Alstom Grid's HYpact modules offer all the advantages of state-of-the-art switchgear: easy operation and maintenance combined with high reliability - all at a lower cost.



**Alstom Grid has been manufacturing high voltage air insulated switchgear for over 100 years. More than 120 000 products have been installed and are in service worldwide.**

**Our investments in R&D are significant, allowing users of our equipment to benefit from the latest technologies and innovations.**

## World-class manufacturing facilities

The plant in Kassel, Germany is among the largest and most successful production facilities in the world for high voltage products. Switchgear from Kassel is installed in both outdoor and indoor substations in more than 150 countries around the world, where they ensure an economical and reliable power supply. With our many years of switchgear manufacturing experience, we will continue to supply customers throughout the world with high quality switchgear from Kassel.

With our process-oriented organisation, we react flexibly to market requirements and produce high-quality products economically and on schedule. All the products that leave our plant are distinguished by a high degree of operating safety and reliability and require only limited maintenance.



### Quality

Our markets and customers are changing fast - and so are we!

We are committed to achieving excellence in quality, which is our number one priority.

We strive for customer satisfaction through the improvement of all processes whether in terms of quality, cost or lead times. This applies to projects and administrative procedures throughout the entire business process, from tender to final delivery of our products, systems and services.

An ISO 9001-certified quality management system, ISO 14001-certified environmental management system as well as OHSAS 18001- certified occupational health and safety management systems govern the entire development and production processes for our high voltage products and ensure – through regularly conducted audits – the highest standards of quality for all our products and services.



The strength of a group combining local experience and global expertise.



### Research & development

Leadership in technology is our hallmark. Year after year, Alstom Grid continues to build on the technical reputation of our transmission and distribution products, services and solutions. Our international presence allows us to draw a maximum of synergies from teamwork and to engage in fruitful cooperation with local universities and scientific bodies.

Alstom Grid in Kassel is the competence centre for circuit-breakers and compact switchgear assemblies up to 170 kV. The internationally accredited high voltage institute enables us to carry out the research and development tests required for our switchgear at the Kassel location.



Central sales office & competence centre Kassel, Germany

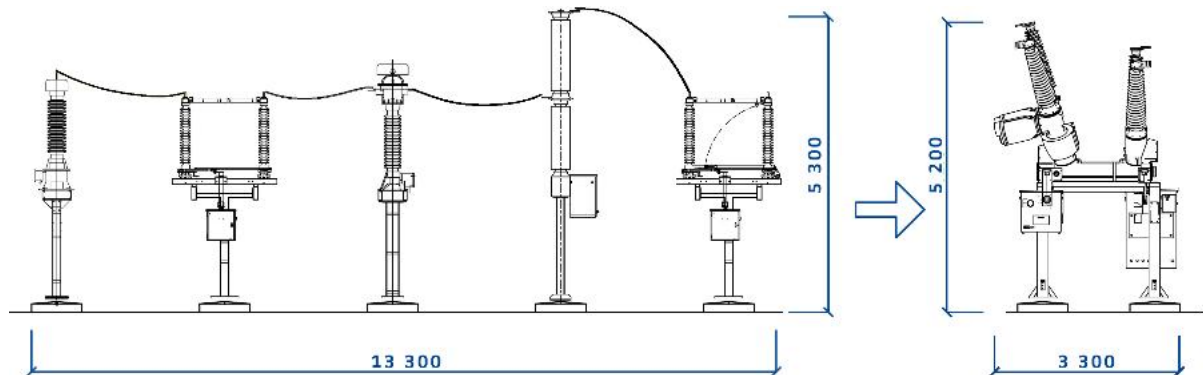


# Advantages

**Compact switchgear assemblies save space – as their name suggests. A switchyard based on hybrid compact switchgear gains more than 50 % in space savings compared to conventional open-type substations**

But space savings is only one advantage. Increasingly, operators choose HYPact even where space is ample, just to benefit from the long periods between maintenance of circuit-breakers and gas insulated disconnectors and earthing switches. Compared to conventional air insulated substations, the maintenance-free periods of substations using HYPact are considerably prolonged.

Besides savings in space and maintenance, HYPact largely reduces the switchgear's exposure to environmental influences, thus providing an economical alternative to gas insulated substations in places that are heavily polluted, or suffer extreme weather conditions.



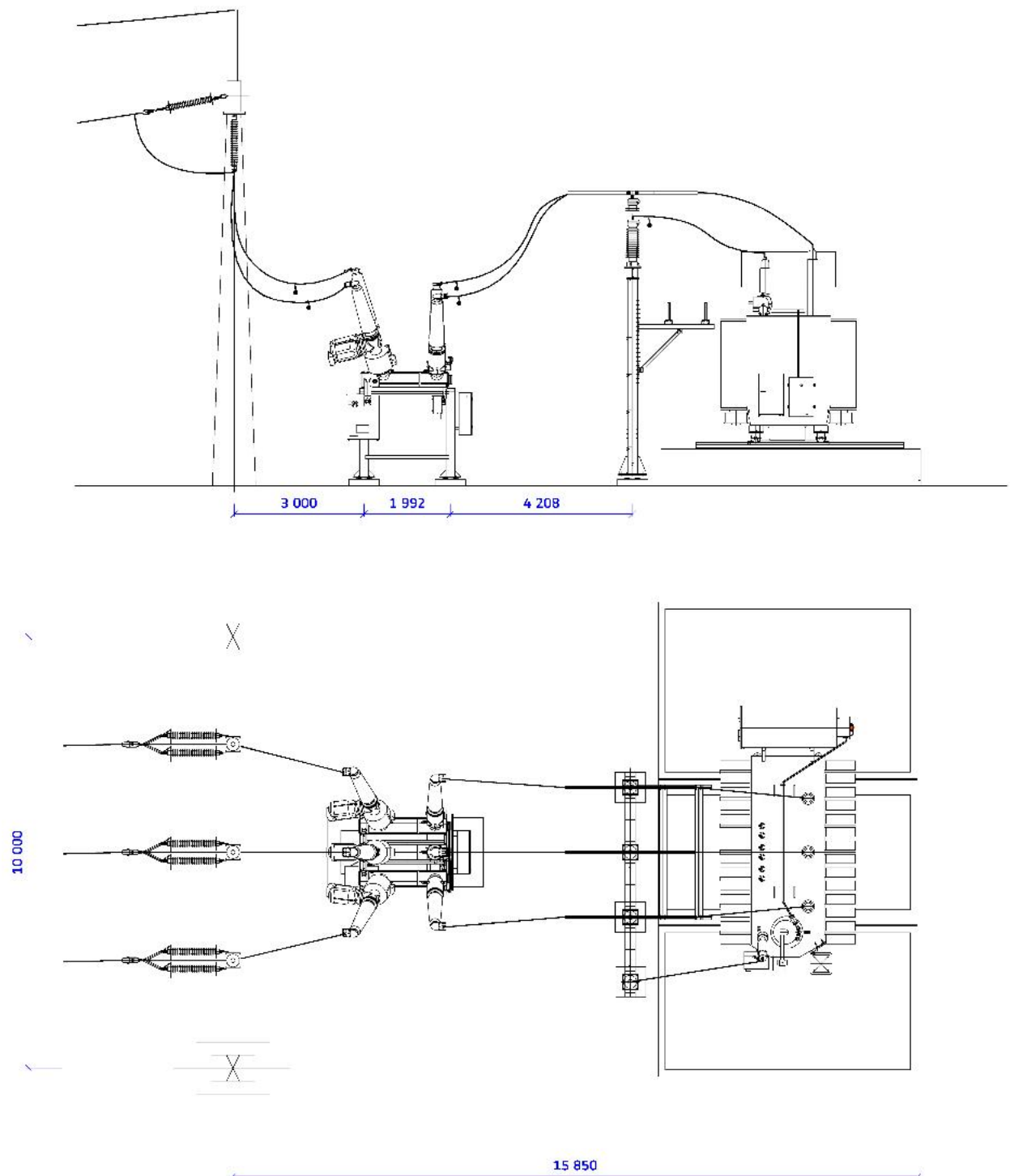
Due to the reduced number of single components the substation's civil works requirements, such as foundations, steel supports, cable trenches and high voltage connections are simplified. Installation works are limited to only one to two days per bay, which can often be executed without our specialised supervisors.

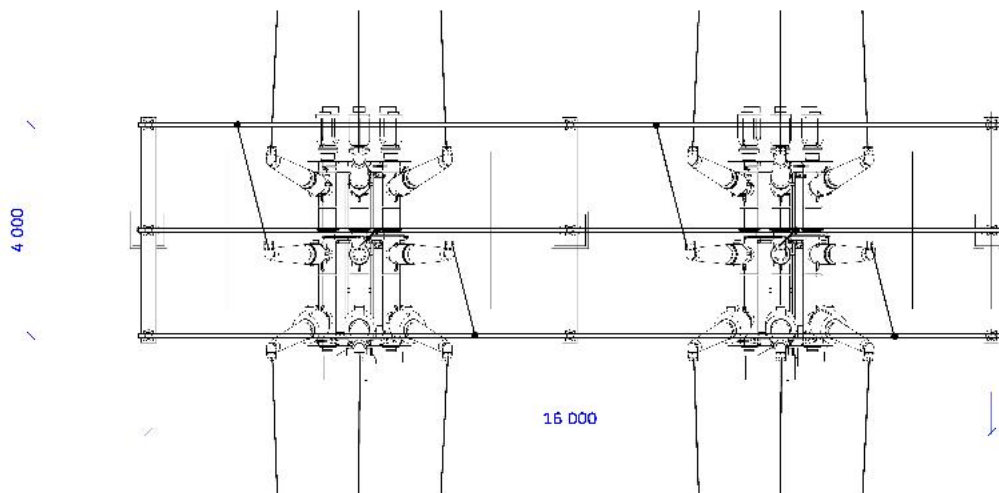
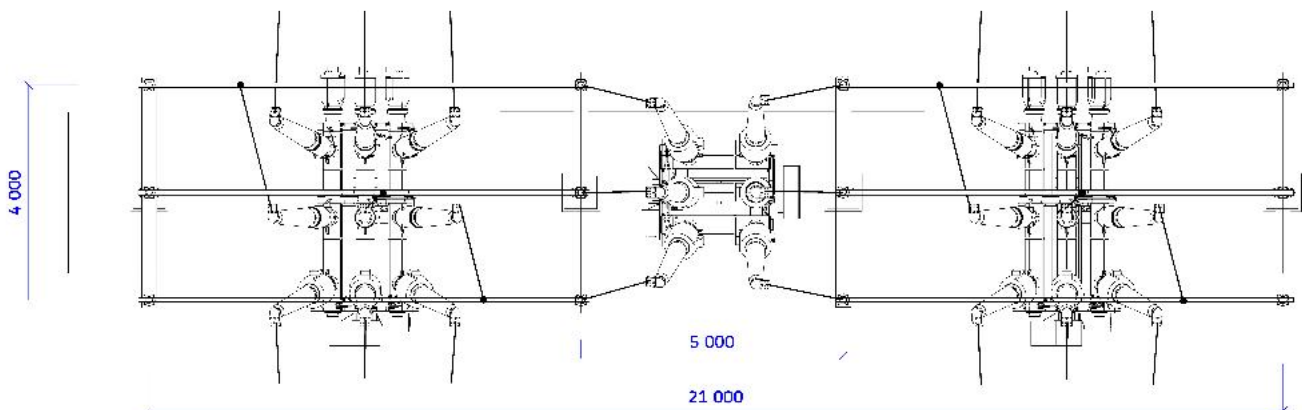


Hybrid compact switchgear assemblies allow optimised substation designs that differ from conventional air or gas insulated substation designs. Substation layouts are defined by the nature of the assembly as one unit and by the operational and maintenance requirements of the entire substation and the surrounding grid. Our experienced specialists are happy to advise you in defining your most preferred solution!

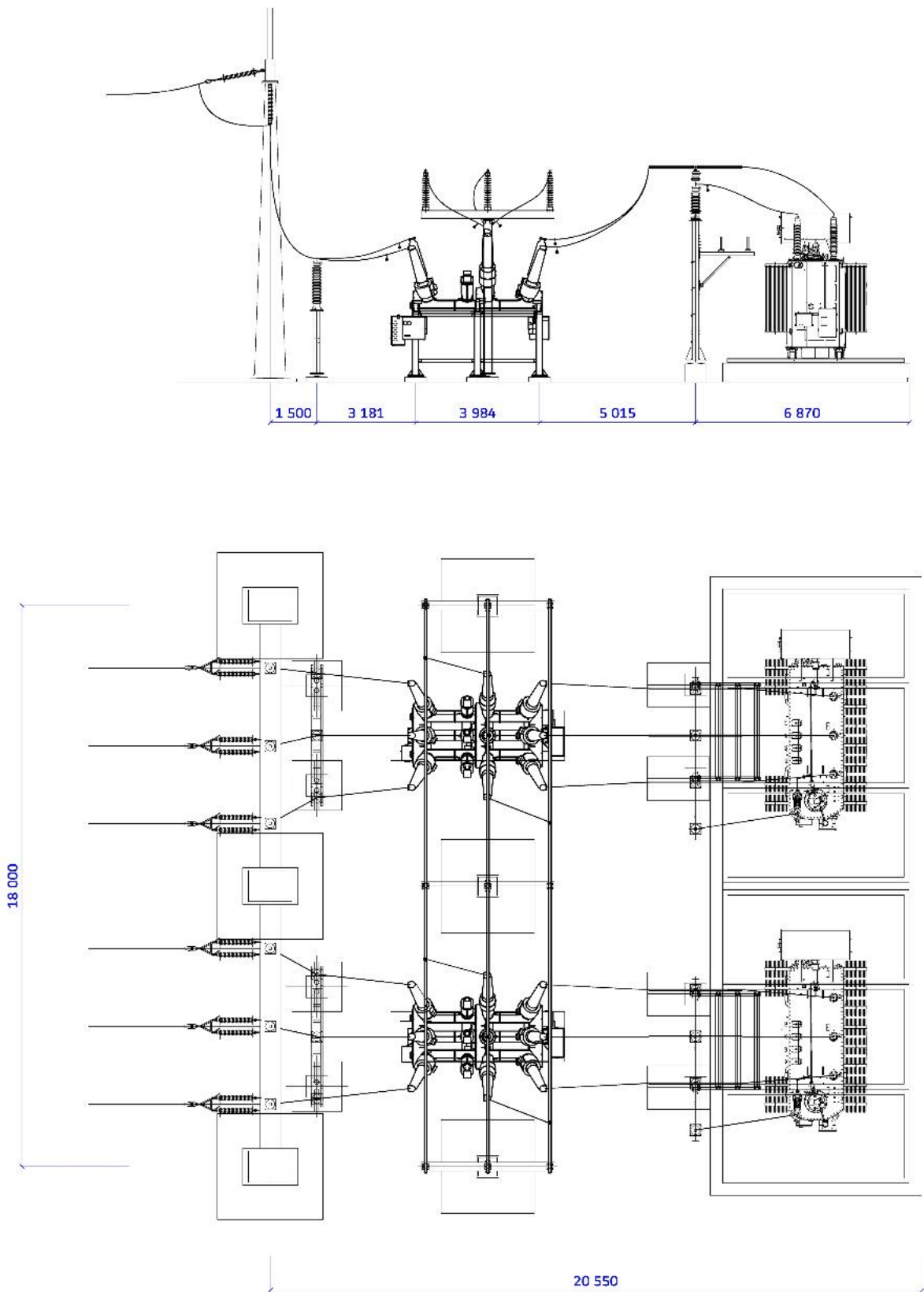
The main versions of HYpact, described in the next pages of this document, can be integrated into the following substation types (examples only):

### Single line feeder



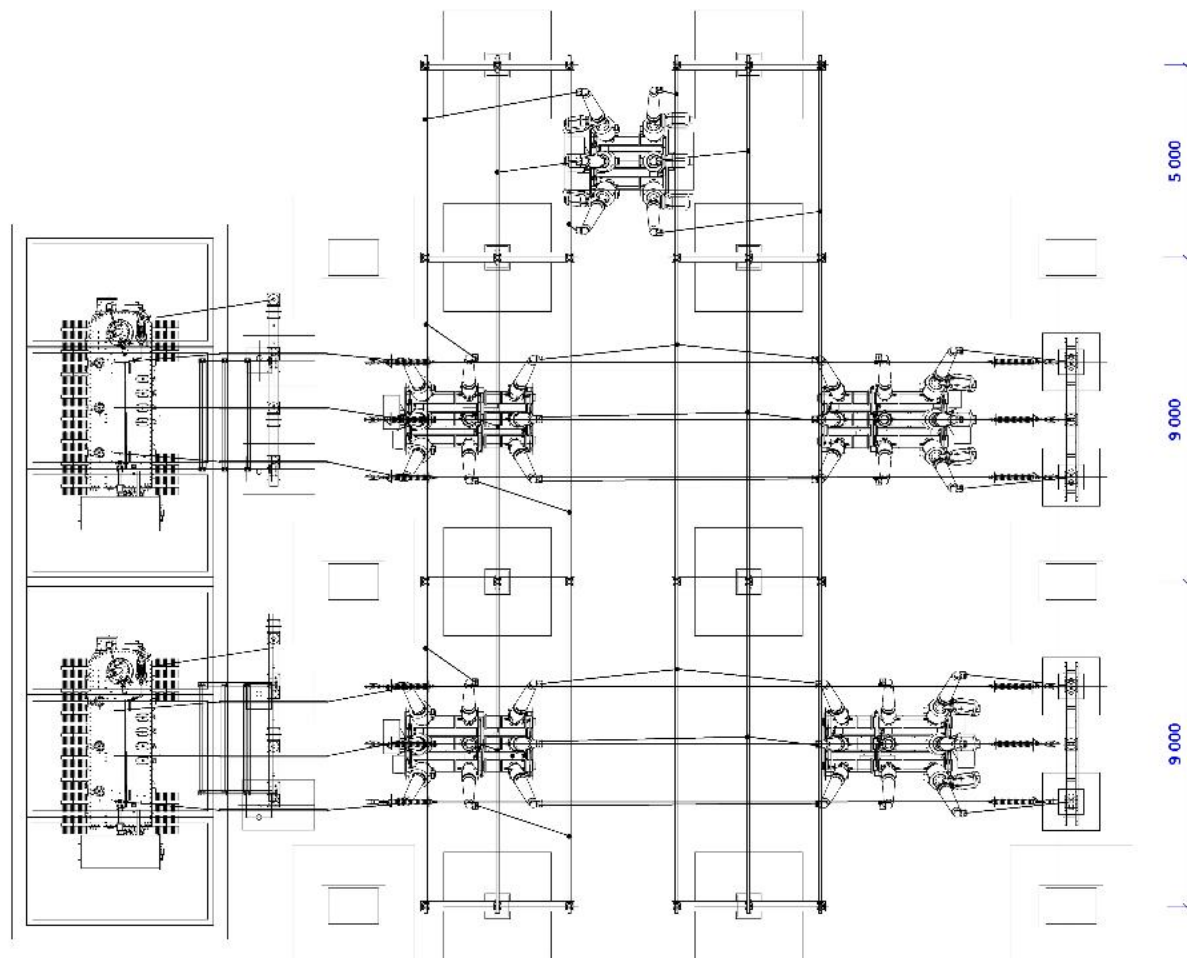
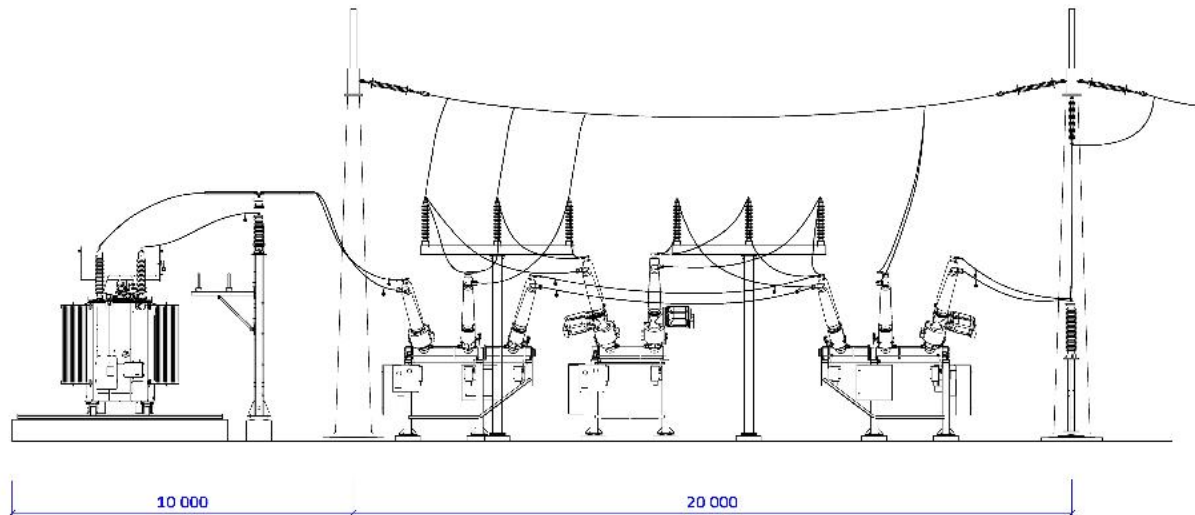
**H-schemes with two circuit-breakers, voltage transformers on busbar side****H-schemes with three circuit-breakers (switchable busbar)**  
**Extendable to larger single busbar applications**

H-scheme with four circuit-breakers

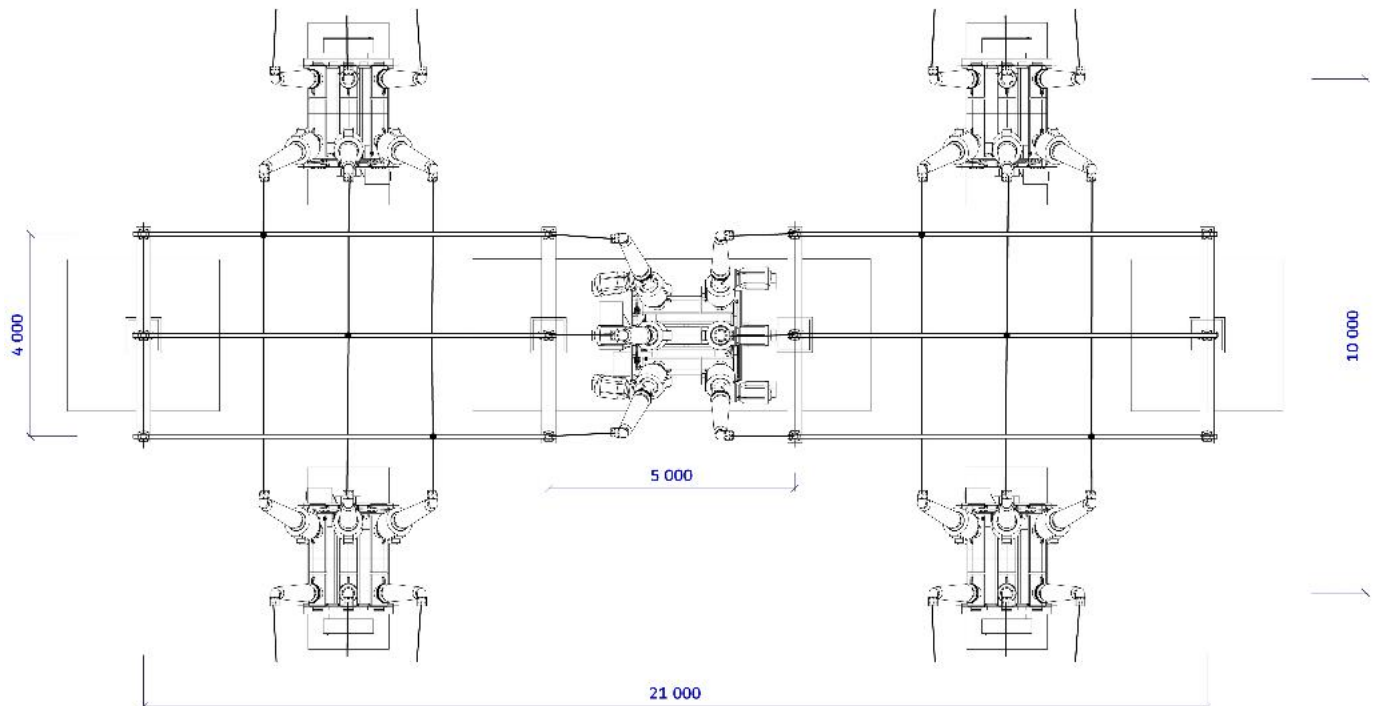




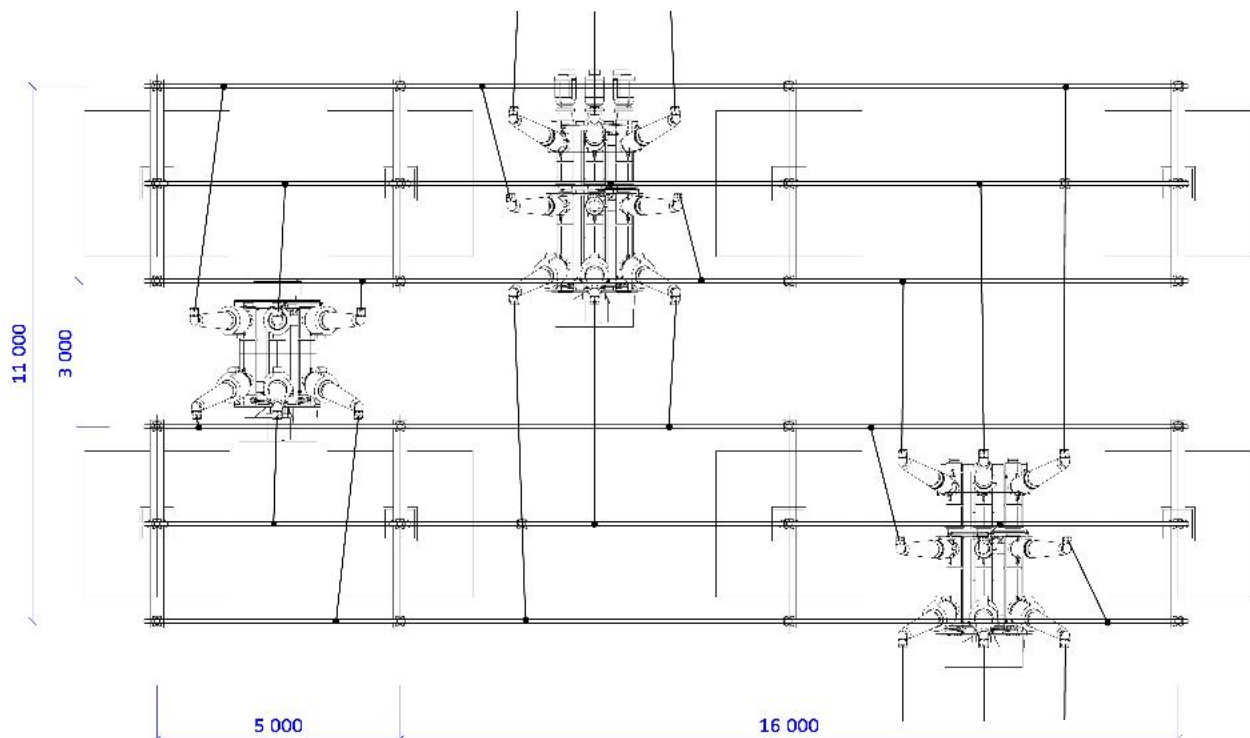
Bus section with bus coupler circuit-breaker (incoming/outgoing feeder and transformer feeder, within one bay section)



**H-schemes with five circuit-breakers (switchable busbar)**  
Extendable to larger single busbar applications



**Double-busbar section, with bus coupler circuit-breaker**



## Components overview

### **Circuit-breaker**

Dead tank type. Three or single-phase operation.

### **Disconnector/ earthing switches**

Three position switch for integral or direct earthing.

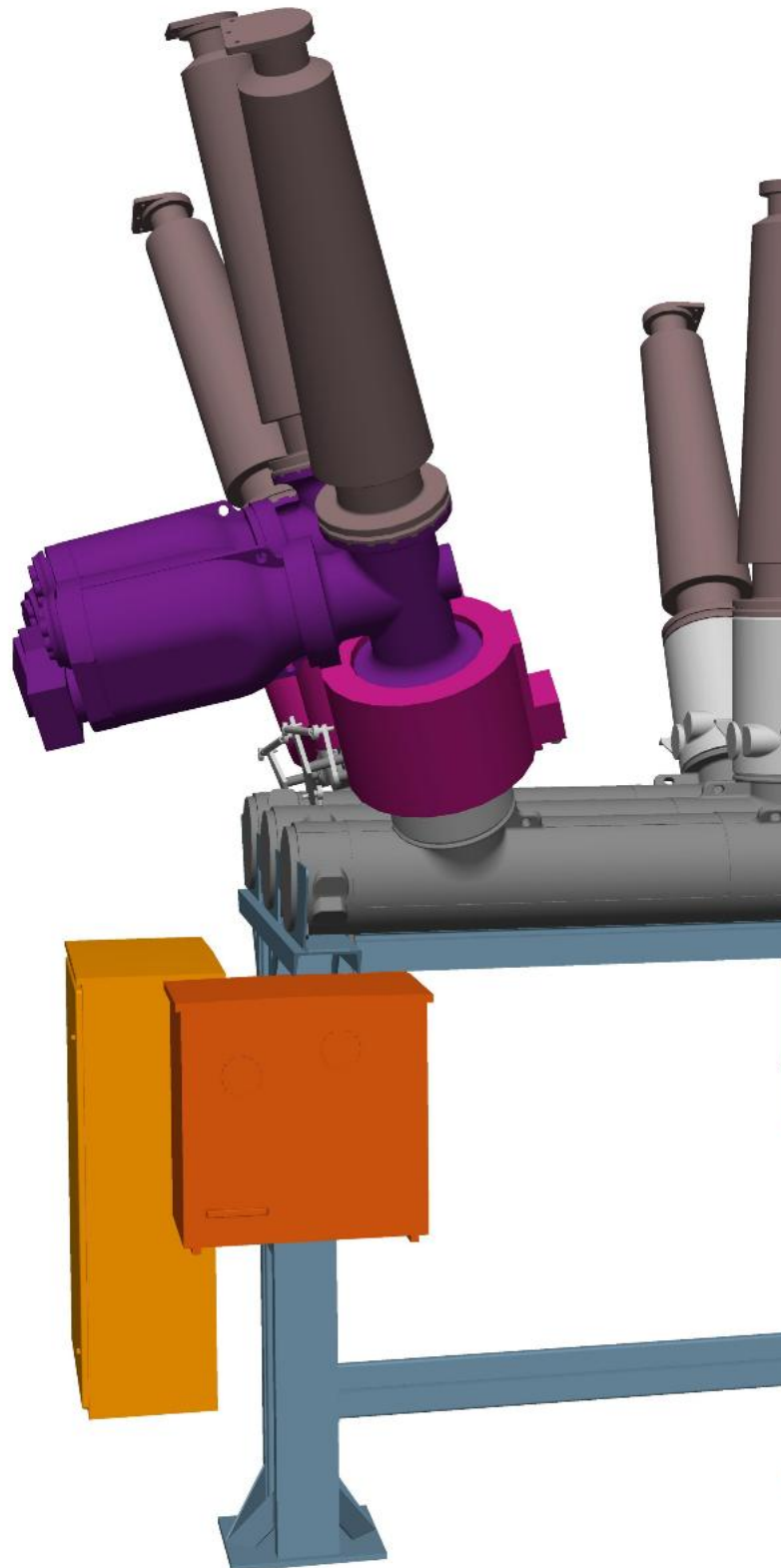
### **Bushings**

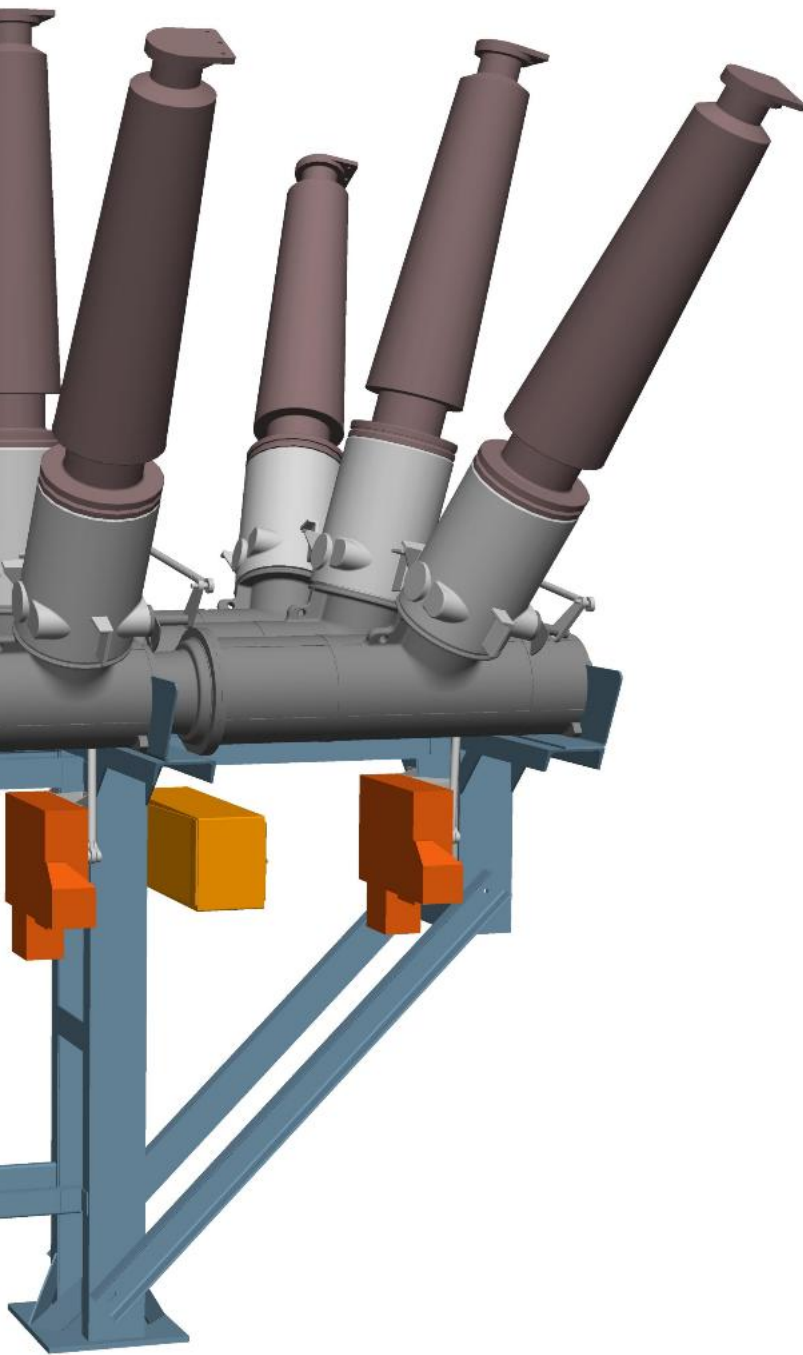
Porcelain or composite insulators.  
Also cable connectors.

### **Mechanisms**

Spring-operated mechanism for circuit-breaker.

Motor operated mechanism for disconnector/earthing switch.





## Control and transformer termination cubicles

For convenient connection of secondaries.



## Current transformers

Toroidal bushing type  
Cast resin or tape-air insulated.



## Voltage transformers

Inductive.



## Steel supports

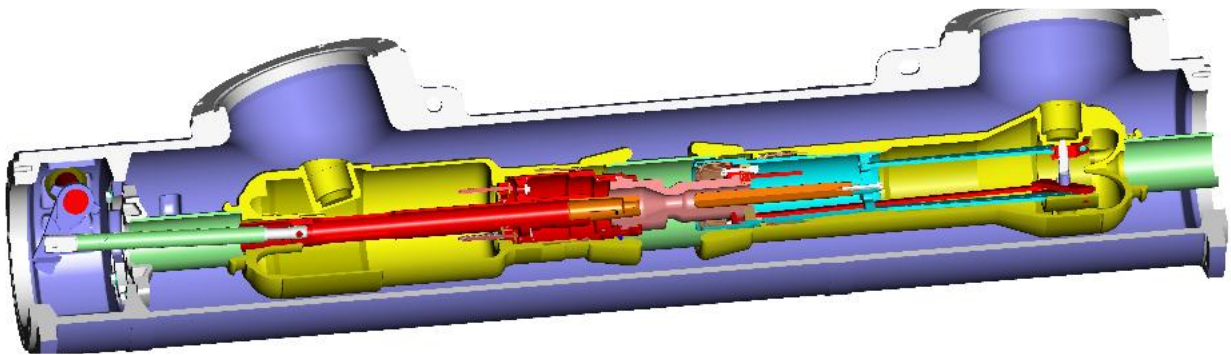
Two steel stands.



## Circuit-breaker

The basic component of every HYpact is its single-phase encapsulated dead tank circuit-breaker. The single aluminium alloy cast housings require a minimum of gaskets, ensuring low leakage rates.

The double motion breaking chamber, also used in live and dead tank circuit-breakers, requires at least 65 % less drive energy compared to traditional self-blast thermal breaking chambers and results in considerably reduced mechanical stress on all HYpact components. Circuit-breakers are either three-pole (gang) or single-pole operated.



## Protected operating linkages

The inter-phase linkages as well as linkages between drive mechanisms and switchgear can be fully covered when necessary due to environmental conditions or due to safety regulations.



## Bushings

Bushings can be supplied either as porcelain or composite bushings. The creepage distance is designed for very heavily polluted areas. (Pollution level IV according to IEC 60815.)

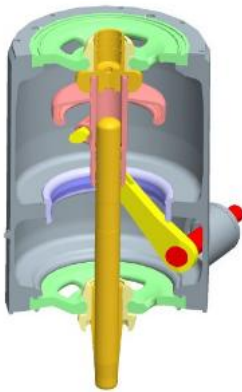




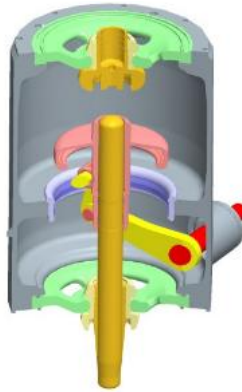
## Disconnecter/earthing switches

HYpact comes with a variety of disconnecting and earthing switch options, all of which are based on gas insulated disconnector and earthing switch technology. The gas insulation protects the contacts from environmental influences like precipitation, pollution and ice, while its compact and encapsulated design ensures that contacts do not need to be re-adjusted due to aging or short-circuit current misalignment.

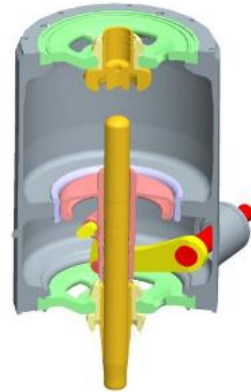
The preferred option is the combined disconnector and earthing switch, where the circuit-breaker finalises the earthing operation. The electrical stress on the earthing switch (sometimes caused by inductive currents) is diverted to the much stronger circuit-breaker, relieving the earthing switch from wear and tear and resulting in reduced maintenance requirements. This earthing principle is referred to as integral earthing and is commonly used in medium voltage technology and now increasingly in high voltage applications.



Connected  
 Disconnector closed  
 Earthing switch open



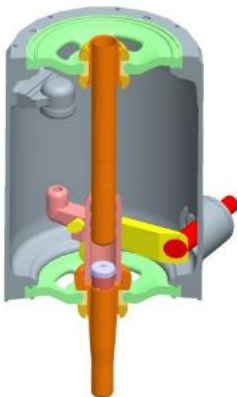
Neutral  
 Disconnector open  
 Earthing switch open



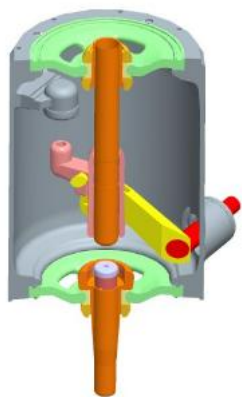
Earthing  
 Disconnector open  
 Earthing switch closed

The three-position switch provides a closed disconnector switch with open earthing switch, an open disconnector switch with open earthing switch and an open disconnector switch with closed earthing switch. The disconnector and earthing switches are intrinsically interlocked.

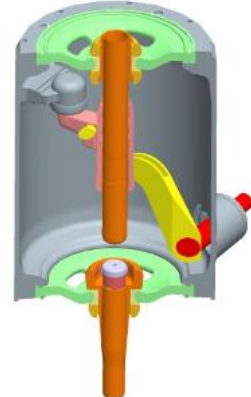
Where substation design and operational requirements do not allow for integral earthing, a direct disconnector/earthing switch is provided. Here, the earthing switch operates independently of the circuit-breaker. Induced currents can be switched according to IEC 62271-102, annex C, class B.



Connected  
 Disconnector closed  
 Earthing switch open



Neutral  
 Disconnector open  
 Earthing switch open



Earthing  
 Disconnector open  
 Earthing switch closed

When required, the disconnectors of both integral and direct disconnector/earthing switches can be reinforced with pre-arcing contacts, enabling the disconnector to switch bus-transfer currents occurring in large air insulated substations (1600 A - 100 V in accordance with IEC 62271-102, annex B, class B).

## Current transformer

Epoxy cast resin toroidal current transformers (with or without metal covers) are placed around disconnector/earthing switches so that they do not need extra space. Their large diameter ensures they can be slipped over bushings and gas works are not required in case these current transformers need to be replaced.



At positions without disconnector/earthing switches, or for particular requirements concerning the position of the current transformers, either cast resin or slimmer tape-air insulated current transformers are available.

Each current transformer can consist of up to five cores. As the number of cores depends on the current transformer's ratio, number of taps, accuracy and power, current transformers are always defined by particular requirements.



Current transformers terminate into a separate measuring transformer wiring box serving as convenient interface with the substation's secondary wiring. (To be omitted on request.)

## Indicators

The position of circuit-breaker and disconnector/earthing switches is displayed in a mechanically linked mimic diagram, conveniently visible from the HYPact's front side.



Additional precision indicators show the exact position of disconnector/earthing switches, including tolerances permitted.



## Drive mechanism

Circuit-breakers are powered by spring-operated mechanisms from Alstom Grid's FK 3-1 series. These drive mechanisms use the most reliable helical compression springs and are present in more than a hundred thousand live and dead tank circuit-breakers, gas insulated switchgear and compact switchgear assemblies worldwide.



Disconnecter/earthing switches are operated by a three-position motor drive, allowing for emergency manual operation too.

All drive mechanisms are mounted on the steel supports and readily adjusted when dispatched.

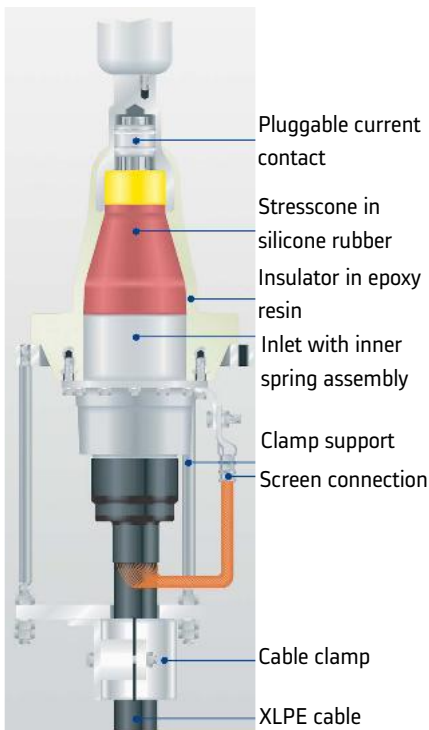
## Central control cubicle

A central bay control is integrated either into the circuit-breaker drive mechanism or into a separate central control cubicle mounted on the HYPact. The bay control is equipped with conventional relays and contactors or by programmable logic controller. If the bay control is integrated into the substation protection and control scheme, the switchgear control at bay level can also be avoided.

Optionally, HYPact can be upgraded with intelligent circuit-breaker monitoring (CBWatch-2).



## Voltage transformers and cable connectors



Inductive voltage transformers may be integrated. These gas insulated voltage transformers are equipped with gas barriers to form separate gas zones.

Integrated cable connectors are optionally available for several types of the most common cable connector manufacturers, either for dry or liquid type connectors.





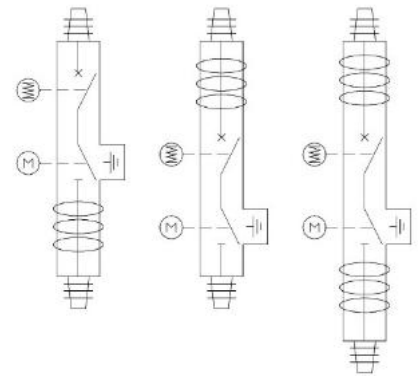
# Main versions

HYpact's modular concept facilitates a variety of configurations suitable for most substation designs, of which the most prominent are shown below.

## Single busbar versions:

HYpact for line and transformer bays:

- one circuit-breaker
- one integral disconnector/earthing switch
- current transformers on either, or on both sides



Optionally available:

- second disconnector/earthing switch (recommended for switched busbar application and bus coupler application)
- either disconnector/earthing switch with direct earthing
- integrated voltage transformers
- integrated cable connectors

## Versions for double busbar or H-scheme:

HYpact for line and transformer bays:

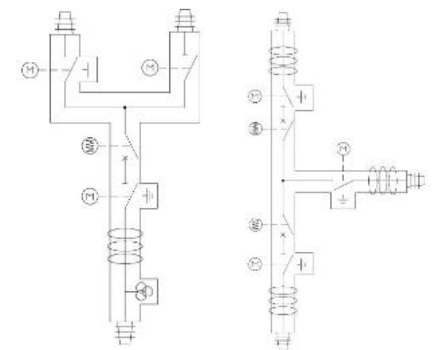
- one circuit-breaker
- two selector switch disconnectors, one or both as disconnector/earthing switch
- direct feeder disconnector/earthing switch
- current transformers on any bushing exit

Optionally available:

- without feeder disconnector/earthing switch for transformer bays
- integrated voltage transformers
- integrated cable connectors
- separate gas zones
- reinforced disconnector contacts to switch bus-transfer currents



HYpact for double busbar



HYpact for H-scheme

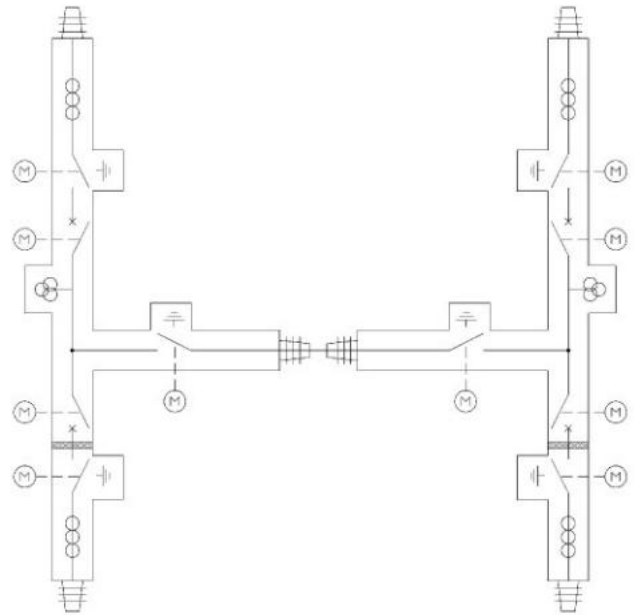
### Double circuit-breaker versions for H-scheme:

HYpact for line and transformer bays:

- two circuit-breakers
- three direct disconnect/earthing switches
- direct feeder disconnect/earthing switch with current transformers

Optionally available:

- integrated voltage transformers on feeder and/or busbar side
- integrated cable connectors
- separate gas zones
- without disconnect/earthing switch at feeders
- current transformers on coupling turrets



The modular concept of HYpact allows its use in almost all substation layouts including single and double busbar applications, cable connectors and single- and three-phase operation for indoor and outdoor installations.

- **Spring-operated mechanism**  
FK 3-1
- **Rated operating sequence of circuit-breaker**  
O-0.3s-CO-3 min-CO resp. CO-15s-CO
- **Rated supply voltage**  
From 48 up to 250 Vdc/ac
- **Maximum ambient temperature**  
From -60 °C up to +40 °C (with pure SF<sub>6</sub>)

Ratings*				
Type		HYpact 123	HYpact 145	HYpact 170
Rated voltage	kV	123	145	170
Rated frequency	Hz	50/60	50/60	50/60
Rated power frequency withstand voltage				
- to earth	kV	230	275	325
- across the isolating distance	kV	265	315	375
Rated lightning impulse withstand voltage				
- to earth	kV	550	650	750
- across the isolating distance	kV	630	750	860
Rated short-circuit breaking current	kA	40	40	40
Rated short-circuit making current	kA	104	104	104
Rated duration of short-circuit	s	3	3	3
Specific to circuit-breaker				
Break time	ms	≤60	≤60	≤60
Closing time	ms	≤70	≤70	≤70

\* Standard values; further data available on request.

## Type tests

The IEC standard for compact switchgear assemblies, IEC 62271-205 2008, requires not only the performance of type test for each individual device, but also the need to demonstrate the characteristics of the assembly in its entirety. Consequently, the complete HYpact consisting of circuit-breaker, disconnecter, earthing switch and current transformer has undergone an extensive type test series, including, but not limited to power tests, dielectric tests, mechanical and environmental tests.

Completive devices and functions, e.g. cable connectors or voltage transformers, have been tested according to their individual applicable standards also as part of the HYpact, to demonstrate that interactions between the devices and the HYpact do not limit their individual ratings or those of the entire assembly.

HYpact type tests have been carried out in accredited and certified test laboratories.





## Operation at low temperatures

HYpact perform perfectly in harsh climates, even under heavy snow and ice loads, or at temperatures down to  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , with pure  $\text{SF}_6$ .

Due to well-covered movable parts, HYpact is properly mechanically protected against the influence of heavy snow and ice-loads.

Additionally, a thermostat-controlled, AC-powered heating system ensures the reliable electrical operation of HYpact at temperatures lower than  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Placed at the main tanks, a number of heating pads and cartridge heaters operate independently.

Protective covers ensure the all-over heat distribution and double as safety device against unintended touching.

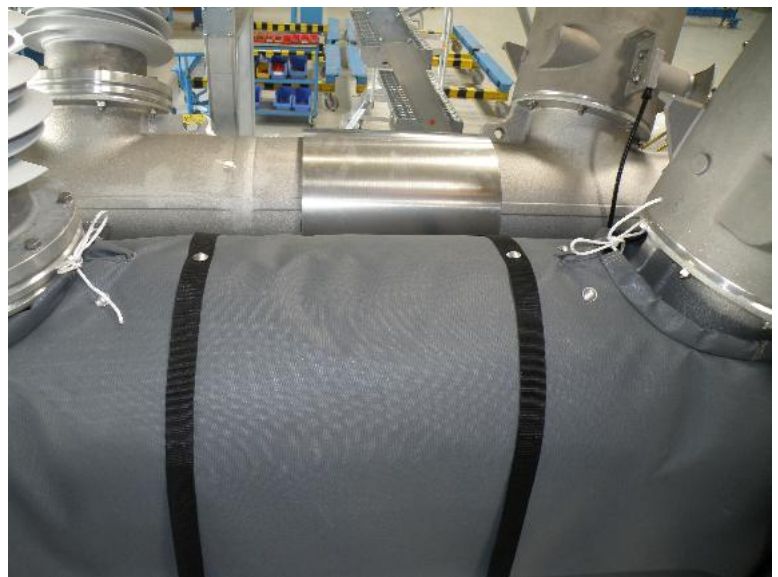
Gentle on energy resources, the gas volume is heated in two steps, dependent from the ambient temperature.

Starting from  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the second circuit is energized at  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  for the  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ -application or at  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  for the  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ -application.

Tested according to the requirements of GOST 15150 and 52565 as well as according to the more severe requirements of FGC-UES the proper function of HYpact is ensured even in the event of loss of the auxiliary power for up to two hours, down to  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  and under wind load.

For areas, designated for temperatures lower than  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , UV-protective silicone blankets are used additionally.

Using Alstom's heating system enables the operation of HYpact under extremely low temperature conditions, with pure  $\text{SF}_6$ !

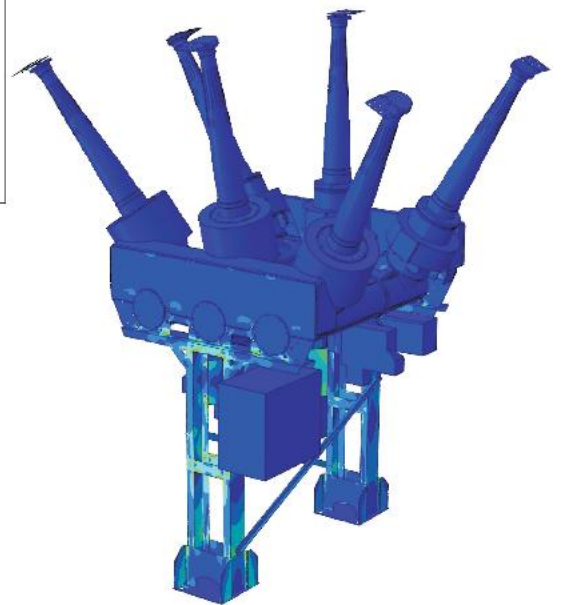
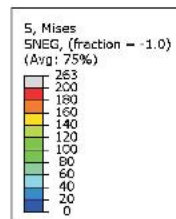


## Seismic qualification

Due to the low center of gravity and the compactness particularly of the encapsulated disconnectors and earthing switches, HYPact is the ideal switchgear for areas exposed to high seismic activity. To optimise the HYPact for use under very heavy seismic conditions, finite element method calculations have been carried out. As a result, HYPacts to be used in earthquake-prone areas are equipped with supports made of high yield-strength steel. For verification of the calculations, the HYPact was exposed to additional shaking table tests based on IEEE Std 693TM-2005 High Level, equalling to seismic accelerations of 0.7 g, which it passed without fail.



HYPact under shaking table test



Seismic calculation

## Transport and installation

A large number of versions are small enough to be transported in containers or on trucks with phases spread open for quick installation, thus saving on transport costs and installation times.



Container transport



Transport by truck

The two delivery units – two steel stands with drive mechanisms and control cubicle mounted and the switchgear module containing the circuit-breaker, disconnect/earthing switches, current transformers, voltage transformers and bushings – can be easily installed and commissioned in only one to three days per bay, without need for time-consuming evacuation and SF<sub>6</sub>-refilling works and without special tools.

## Monitoring

In addition to standard product components, we develop optional systems to optimise the monitoring and maintenance of high voltage equipment.

### CBWatch-2 monitoring system

**The CBWatch-2 is a combination of new monitoring and maintenance optimisation tools accessible via web-based technology.**

The CBWatch-2 is installed in the control panel and maintains a constant, monitored link with a local or remote database via CBWatch Tool software. The monitoring system records information coming from the sensors installed on the breaker, then analyses the information, comparing it with standard operational parameters programmed into the system.



CBWatch-2



## HYpact around the world



New Zealand



Italy



Gabon



Bolivia



Romania



Germany



Switzerland



Kenya



Andorra



Germany



Russian Federation



United Kingdom

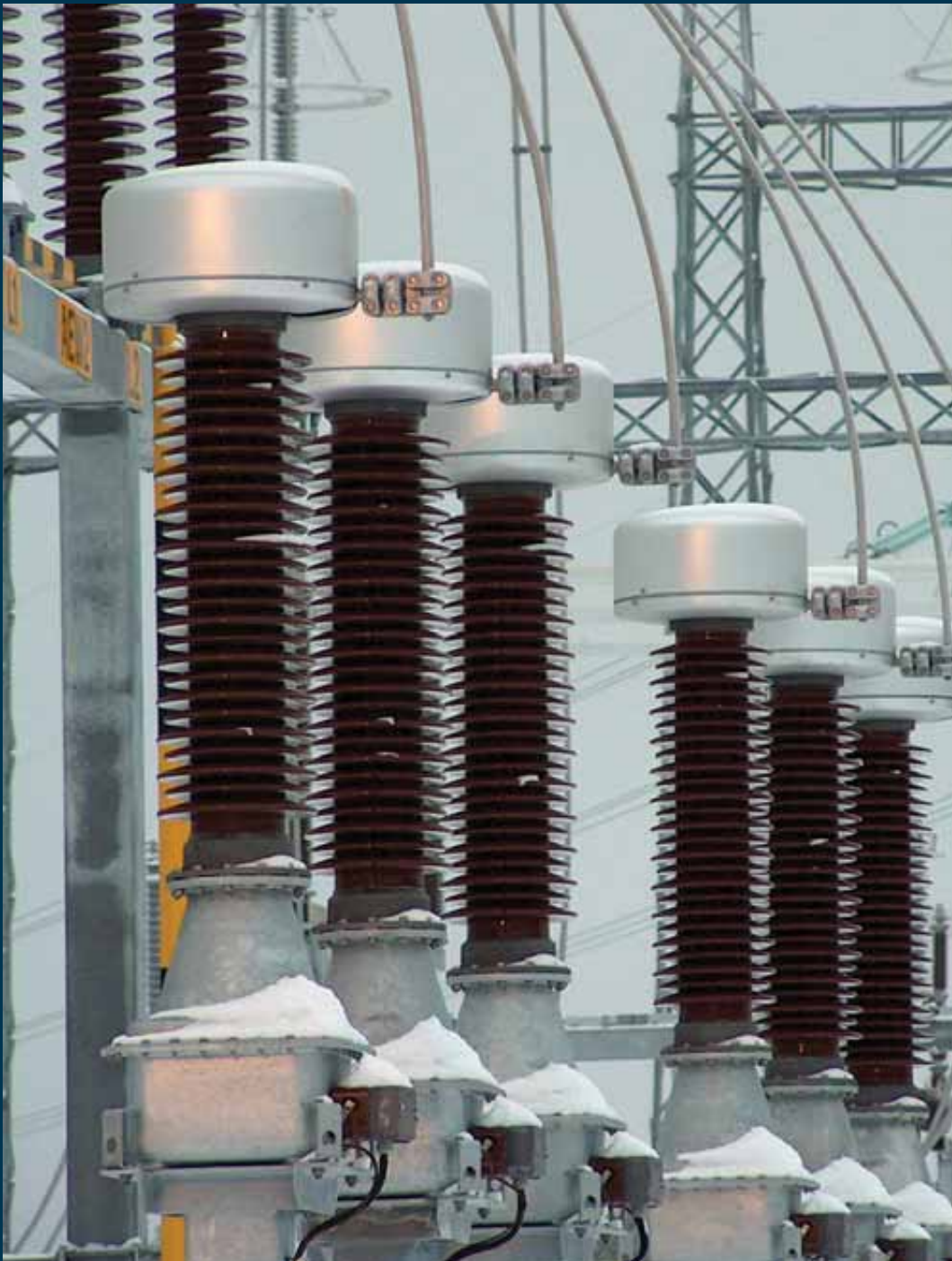


ALSTOM Grid Worldwide Contact Centre  
[www.alstom.com/grid/contactcentre](http://www.alstom.com/grid/contactcentre)  
Tel: +44 (0) 1785 250 070  
**[www.alstom.com](http://www.alstom.com)**

GRID

**ALSTOM**

## 2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS Aislamiento papel-aceite



➤ Transformadores de  
tensión inductivos  
de 123 kV.  
Fingrid (Finlandia)

# INTRODUCCIÓN

Los transformadores de tensión inductivos están diseñados para reducir las tensiones a valores manejables y proporcionales a las primarias originales, separando del circuito de alta tensión los instrumentos de medida, contadores, relés, etc.

Modelo UT hasta 550 kV.



> Modelo UTF



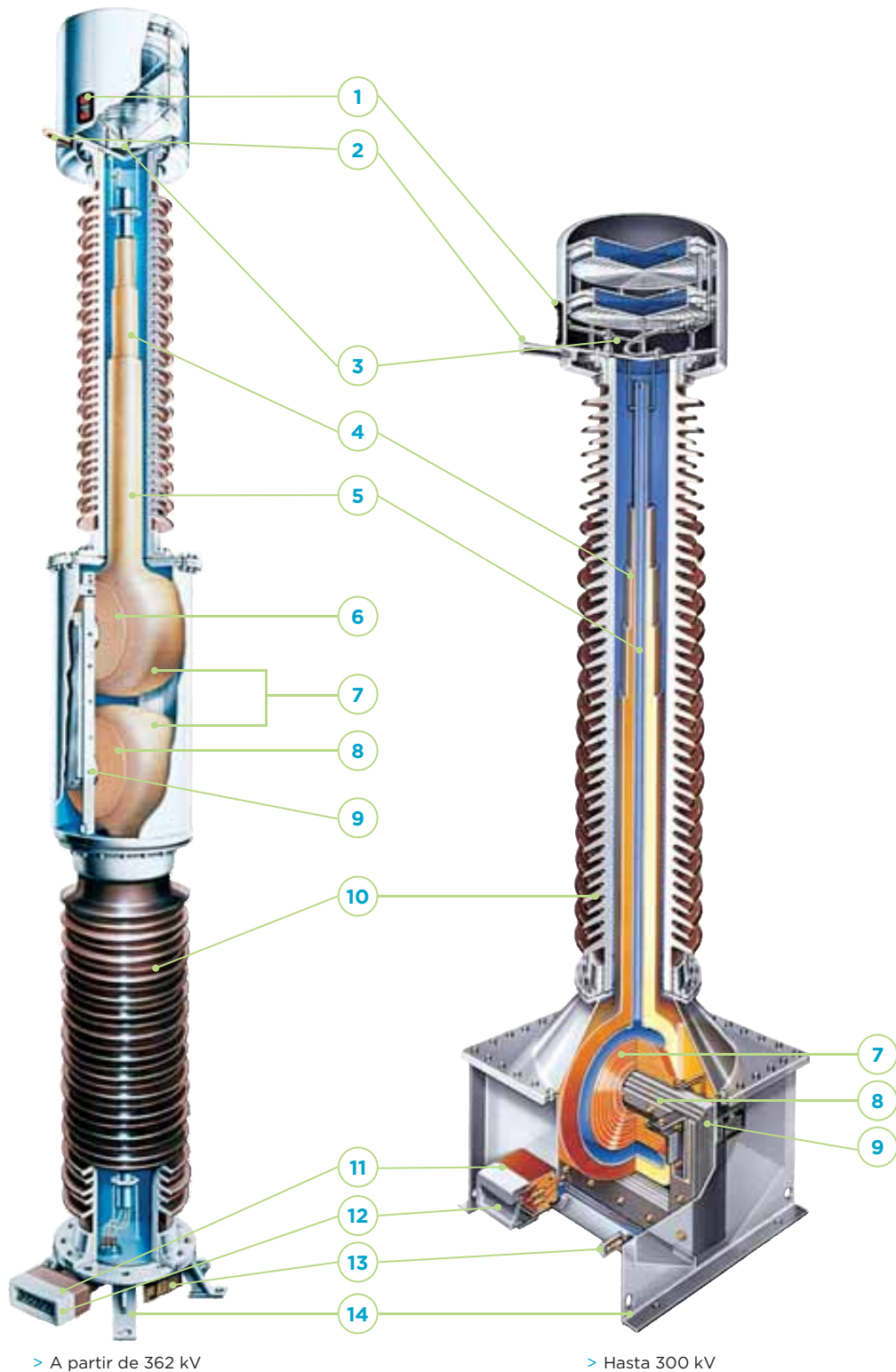
> Modelo UTE



> Modelo UTD

## SECCIONES

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. Indicador de nivel de aceite     | 8. Arrollamientos secundarios          |
| 2. Terminal primario                | 9. Núcleo                              |
| 3. Compensador de volumen de aceite | 10. Aislamiento (porcelana o silicona) |
| 4. Borna condensadora               | 11. Toma medida tangente delta         |
| 5. Aislamiento papel-aceite         | 12. Caja terminales secundarios        |
| 6. Arrollamiento de compensación    | 13. Toma de muestras de aceite         |
| 7. Arrollamientos primarios         | 14. Terminal de puesta a tierra        |





## 2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite

### APLICACIONES

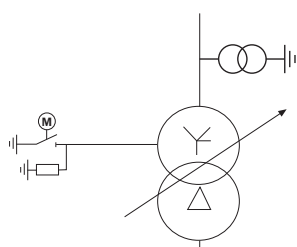
Ideal para instalación en puntos de medida por su muy alta clase de precisión.

Apto para descarga de líneas de alta tensión y bancos de condensadores.

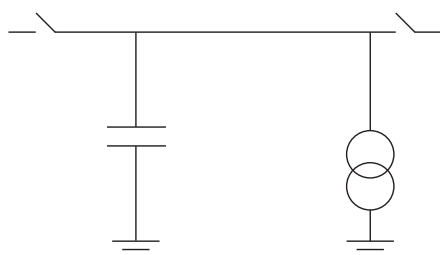
Excelente respuesta frecuencial, ideal para monitorización de la calidad de onda y medida de armónicos.

#### Ejemplos de aplicación:

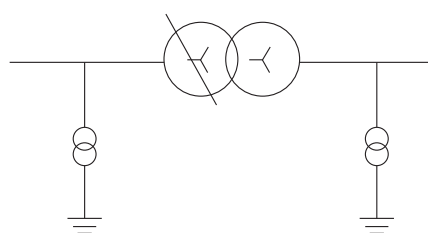
1. Medida para facturación.



2. Descarga de líneas y bancos de condensadores.



3. Protección de líneas y subestaciones de alta tensión.



4. Alimentación de servicios auxiliares.



1. Transformadores de tensión inductivos de 123 kV (Bosnia).



2. Transformadores de tensión inductivos de 123 kV. Transpower (Nueva Zelanda).



3. Transformadores de tensión inductivos de 420 kV. Rede Eléctrica Nacional (Portugal).



4. Transformador de tensión inductivo de 245 kV. Coyote Switch (Estados Unidos).

## DISEÑO Y FABRICACIÓN

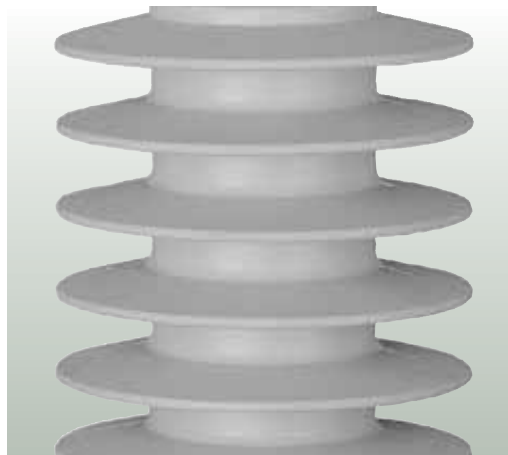
El transformador de tensión puede tener varios circuitos secundarios para medida y/o protección. Todos los arrollamientos secundarios y el primario están bobinados sobre el mismo núcleo, por lo que se transmite toda la potencia.

El núcleo y los arrollamientos van colocados dentro de una cuba metálica. Los arrollamientos son de diseño antirresonante lo que propociona al aparato un correcto comportamiento tanto a frecuencia industrial como ante fenómenos transitorios de alta frecuencia.

### VENTAJAS

- › Muy alta precisión (hasta 0,1%) invariable a lo largo de la vida del aparato.
- › Diseño de arrollamientos antirresonante.
- › Diseño seguro en caso de fallo interno gracias a:
  - Partes activas dentro de cubas metálicas separadas de los aisladores.
  - Dispositivos de liberación de sobrepresión.
  - Conexiones eléctricas resistentes al corto-circuito.
- › Alta robustez mecánica y reducido tamaño mediante un diseño compacto que facilita el transporte, almacenaje, montaje y reduce el impacto visual de los aparatos.
- › Sistema de compensación de nivel de aceite que regula eficazmente los cambios en el volumen de aceite debidos fundamentalmente a la variación de temperatura.
- › Herméticamente construido con el mínimo volumen de aceite en su interior.
- › Válvula de toma de muestras de aceite para su análisis periódico.
- › Libres de mantenimiento durante su amplio periodo de funcionamiento.

Alta precisión, exacta e invariable, unida a un diseño seguro y de máxima fiabilidad.



- › Indicador de nivel de aceite de transformador inductivo.
- › Posibilidad de diferentes tipos de aisladores (silicona, porcelana gris, porcelana color...).

## 2. TRANSFORMADORES DE TENSIÓN INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite

- › Diseño amigable con el medio ambiente debido a la utilización de aceites aislantes de alta calidad y libres de PCB. Los materiales empleados son reciclables y resistentes a la intemperie.
- › Respuesta óptima en condiciones climáticas extremas (desde -55 °C hasta +55 °C), altitudes superiores a 1.000 m.s.n.m., ambientes salinos o contaminados. seísmos, etc.
- › Los aparatos se ensayan como rutina, a descargas parciales, tangente delta, aislamiento y precisión y están diseñados para soportar todos los ensayos tipo que indican las normas.
- › Cumple todo tipo de requerimientos a nivel mundial: IEC, IEEE, UNE, BS, VDE, SS, CAN, AS, NBR, JIS, GOST, NF y otras.
- › Disponibilidad de laboratorios propios homologados oficialmente.
- › Posibilidad de transporte y almacenamiento horizontal o vertical.

### OPCIONES:

- › Amplia variedad de terminales primarios y secundarios.
- › Posibilidad de aislador de silicona.
- › Secundarios precintables.
- › Dispositivos de protección de secundarios dentro del bloque de bornas.
- › Sistema de compensación de aceite con fuelle metálico. Opción de membrana de goma hasta 170 kV.
- › Posibilidad de conexión como paso de corriente.
- › Borne primario vertical.

- › Transformadores de intensidad y tensión inductivos de 420 kV. Red Eléctrica de España.



### GAMA

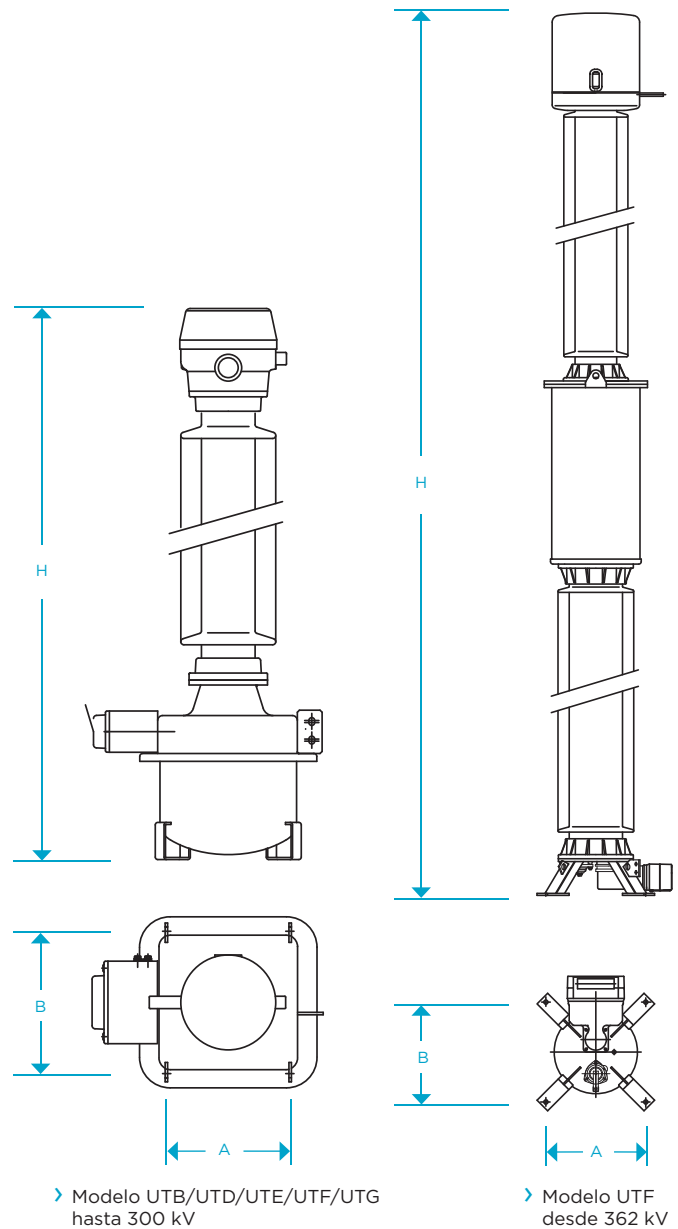
Los transformadores de tensión inductivos de ARTECHE se denominan mediante el uso de las letras (UT) seguidas de una tercera letra y de 2 ó 3 cifras que coinciden con la tensión máxima de la red para la que han sido diseñados.

Las tablas (siguiente página) muestran las gamas de ambos tipos de equipos fabricados por ARTECHE. Las características son orientativas; ARTECHE puede fabricarlos de acuerdo con cualquier norma nacional o internacional.

#### Clases y potencias de precisión estándar:

- › Según normas IEC
  - 100 VA Clase 0,2 / 3P
  - 250 VA Clase 0,5 / 3P
- › Según normas IEEE
  - 0.3 WXYZ
  - 1.2 WXYZ, ZZ

Posibilidad de clases y potencia de precisión superiores.



- › Transformadores de tensión inductivos de 123 kV. Electronet Services (Nueva Zelanda).
- › Transformadores de tensión inductivos de 420 kV. Elia (Bélgica).



## 2. TRANSFORMADORES DE Tensión INDUCTIVOS > Aislamiento papel-aceite

Aislamiento papel-aceite > Modelo UT									
Modelo	Tensión máxima de servicio (kV)	Tensiones de ensayo			Potencia térmica (VA)	Línea de fuga estándar (mm)	Dimensiones		Peso (kg)
		Frecuencia industrial (kV)	Impulso (kVp)	Maniobra (kVp)			A x B (mm)	H (mm)	
UTB-52	52	95	250	-	1.500	1.300	300x300	1.335	95
UTD-52	52	95	250	-	2.000	1.300	330x300	1.395	150
UTB-72	72,5	140	325	-	1.500	1.825	300x300	1.335	108
UTD-72	72,5	140	325	-	2.000	1.825	330x300	1.395	150
UTE-72	72,5	140	325	-	2.500	1.825	400x430	1.645	285
UTD-100	100	185	450	-	2.000	2.500	330x300	1.690	165
UTD-123	123	230	550	-	3.000	3.075	350x475	2.120	292
UTE-123	123	230	550	-	3.500	3.075	350x475	2.120	355
UTE-145	145	275	650	-	3.500	3.625	350x475	2.105	335
UTE-170	170	325	750	-	3.500	4.250	350x475	2.235	350
UTF-245	245	460	1.050	-	3.500	6.125	450x590	3.210	650
		395	950						
UTG-245	245	460	1.050	-	3.500	6.125	500x640	3.260	800
		395	950						
UTG-300	300	460	1.050	850	3.500	7.500	500x640	3.660	910
UTF-420	420	630	1.425	1.050	3.500	10.500	600x600	5.210	1.315
		575	1.300	950					
UTF-525	550(525)	680	1.550	1.175	3.500	1.3125	600x600	6.070	1.700

Dimensiones y pesos aproximados. Para necesidades especiales, consultar.

# MiCOM Alstom P642, P643, P645

Transformers are high capital cost assets in electrical power systems. Elimination of all electrical and mechanical stresses, although desirable to preserve transformer life, is impractical. Adaptive techniques to measure and alarm (or trip) in such instances, and advise on cumulative service duty, can help to schedule preventive maintenance – before a costly failure occurs. Internal faults are a risk for all transformers, with short-circuits dissipating the highest localised energy. Unless cleared quickly, the possibility of rewinding windings decreases, and core damage may become irreparable.



Front view P64x

## Advanced transformer protection, control and condition monitoring

The MiCOM Alstom P642, P643 and P645 address all these issues - preserving service life and offering fast protection for transformer faults. A transient bias technique has been included, enhancing relay stability and CT requirements. CT saturation and no gap detection techniques have been included to improve the low set differential element operating time during CT saturation where the second harmonic blocking might be asserted. An external fault detection algorithm has been incorporated to prevent the CT saturation and no gap detection from affecting the second harmonic blocking when there is an external fault.

Hosted on an advanced IED platform, the P64x incorporate differential, REF, thermal, and overfluxing protection, plus backup protection for uncleared external faults. Model variants cover two and three-winding transformers (including auto-transformers), with up to five sets of 3-phase CT inputs. Large CT counts are common in ring bus/mesh corner applications, where the P64x summate currents to create each total winding current, easing application of backup protection. Backup overcurrent can be directionalised, where the user includes the optional 3-phase VT input or 2-phase VT input in their chosen model.

### KEY FEATURES

- High-speed transformer differential protection
- Simple settings – wizard requires only nameplate data
- Novel CT saturation and no gap detection techniques enhances the low set differential element operating time
- Transient bias algorithm enhances relay stability and reduces CT requirements
- High and low impedance Restricted Earth Fault (REF) boosts trip sensitivity
- Voltage, frequency, thermal and overfluxing elements, CT, VT, trip circuit and self- supervision
- Patented CT supervision ensures no spurious trip for CT or wiring failures
- Integrated backup overcurrent per winding or CT input
- Fast reset (less than 1 cycle) circuit breaker failure element
- Readily interfaces with multiple automation protocols, including IEC 61850 with optional edundancy including IEC 62439 PRP and RSTP

### CUSTOMER BENEFITS

- Universal IED for all transformer configurations
- Protection, control, monitoring, measurements and recording in one device
- Backup and logging of through faults
- Simple to configure, set, and commission
- Programmable function keys
- Programmable Scheme Logic (PSL) allows easy customization of the protection and control functions
- IEC 61850-9-2 process bus ready



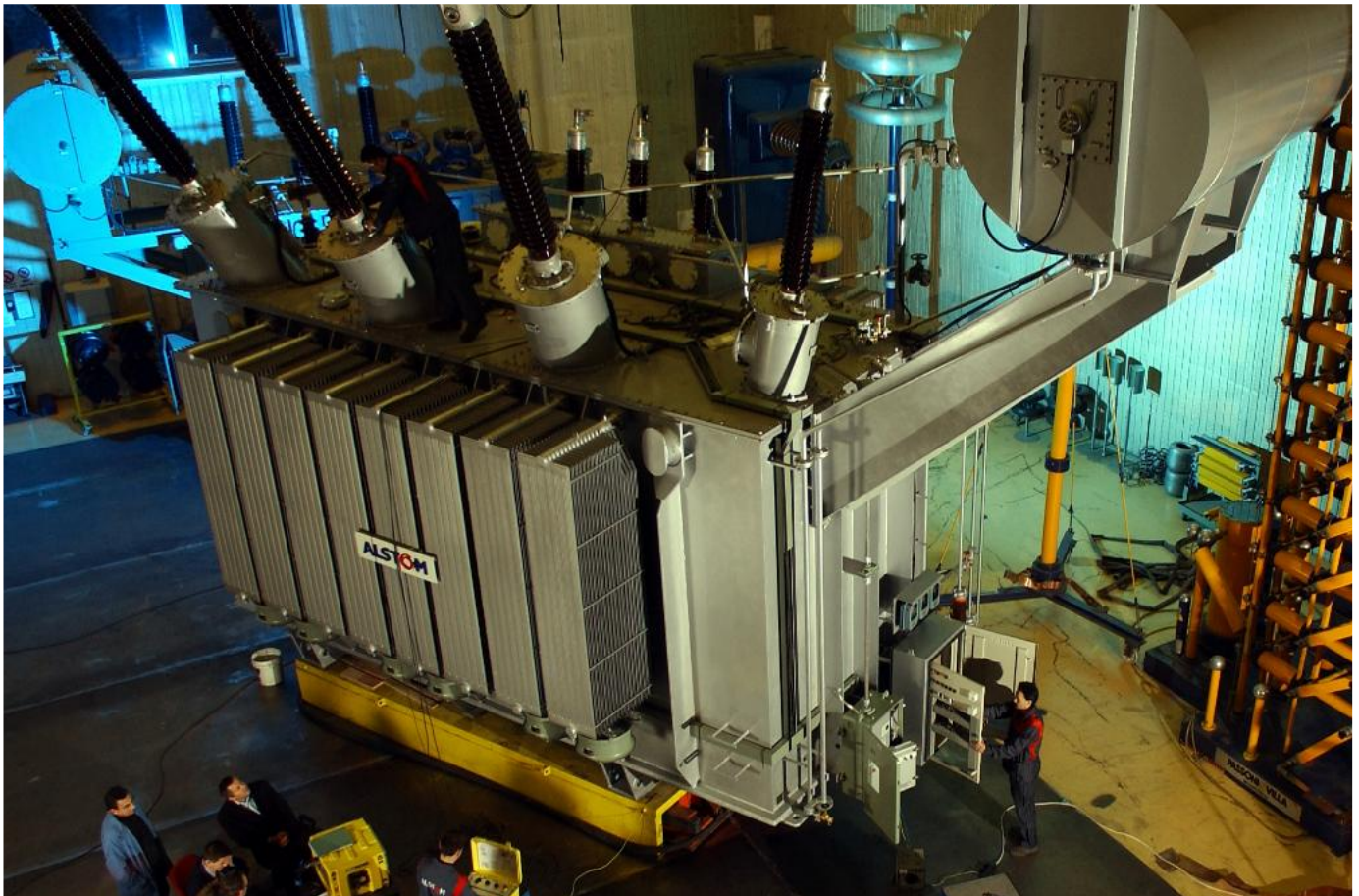
## APPLICATION

The MiCOM Alstom P642 is intended for two-winding transformer applications, with one set of 3-phase CTs per winding. The P643 covers up to 3 bias inputs (three CT sets) - either a three-winding application, or two-winding with dual CTs on one side. Where 4 or 5 feeding connections to the protected transformer exist, the P645 offers five bias input sets. All models have a single-phase VT input, mainly for overfluxing protection. An additional single phase VT input can be ordered in the P642 to provide NPS over voltage and directional functions to some extent. The P643 and P645 allow an additional 3-phase VT input to be connected.

This allows overcurrent backup to be directionalised, and expands the measurement and recording analogue channels available. The P643 and P645 can be configured to protect transformers for differential protection and the unused CT inputs can be used to protect other circuits over current protection of auxiliary transformers.

As well as transformer protection, the P64x range may be applied to other unit applications, such as reactors and motors. The P64x series is supplied with a full suite of protection and control functions

as standard. The configuration column of the menu is used to control which functions the user requires in the intended application, and which may be disabled. Disabled functions are completely removed from the menu, to simplify settings. Differential elements have an inbuilt configuration wizard, to avoid settings errors.



## FUNCTIONAL OVERVIEW

ANSI	IEC61850	FEATURES	P642	P643	P645
		Number of bias inputs (3-phase CT sets)	2	3	5
		Number of residual/star-point CTs	2	3	3
		Single-phase VT input	1	1	1
		Additional single-phase VT input	(-)		
		Additional 3-phase VT	-	(-)	(-)
87T	LzdPDIF	Transformer differential protection	•	•	•
64	RefPDIF	High/ Low impedance Restricted Earth Fault protection (windings)	2	3	3
49	ThmPTTR	Thermal overload	•	•	•
24	PVPH	V/Hz overfluxing	1	1 (2)	1 (2)
LoL		Loss of life	•	•	•
Thru		Through fault monitoring	•	•	•
RTD	RtfPTTR	RTDs x 10 PT100 temperature probes	(-)	(-)	(-)
CLIO	PTUC	Current loop transducer I/O (4 input / 4 output)	(-)	(-)	(-)
50/51	OcpPTOC	Three-four stage overcurrent protection	•	•	•
51V		One-two stage voltage controlled O/C element	•	•	•
50N/51N	Ef_PTOC	Three-four stage derived or measured standby earth fault elements	•	•	•
46	NgcPTOC	Three-four stage negative phase sequence O/C elements	•	•	•
67/67N	RDIR	Directionalised O/C, SBEF, and NPS elements (with optional 3 VT or 2 VT)	(-)	(-)	(-)
50BF	RBRF	Breaker fail protection (number of breakers)	2	3	5
27/59/59N	PTUV/PTOV	Undervoltage, overvoltage and residual VN> (with optional 3 VT addition)	-	(-)	(-)
47	NgvPTOV	Negative phase sequence over voltage	(-)	(-)	(-)
81U/81O	PTUF/PTOF	one-four stage underfrequency / one-two stage overfrequency	•	•	•
VTS		VT Supervision	(-)	(-)	(-)
CTS		Differential CTS (patented)	•	•	•
TCS		Trip circuit supervision	•	•	•
		32 user alarms	•	•	•
		CT input exclusion	•	•	•
IRIG-B		IRIG-B time synchronizing input	(-)	(-)	(-)
	OptGGIO	Optocoupled logic inputs	8....12	16....24	16....24
	RlyGGIO	Relay output contacts	8....12	16....24	16....24
	FnkGGIO	Function keys	-	10	10
	LedGGIO	Programmable LEDs (R-red, G-green, Y-yellow)	8R	18R/G/Y	18R/G/Y
PSL		Graphical programmable scheme logic	•	•	•
		Alternative setting groups	4	4	4
SOE		Sequence of event records	•	•	•
		Fault waveform disturbance records	•	•	•
		Redundant Ethernet Board	(-)	(-)	(-)

KEY: BRACKETS (-) DENOTE OPTIONAL FEATURES



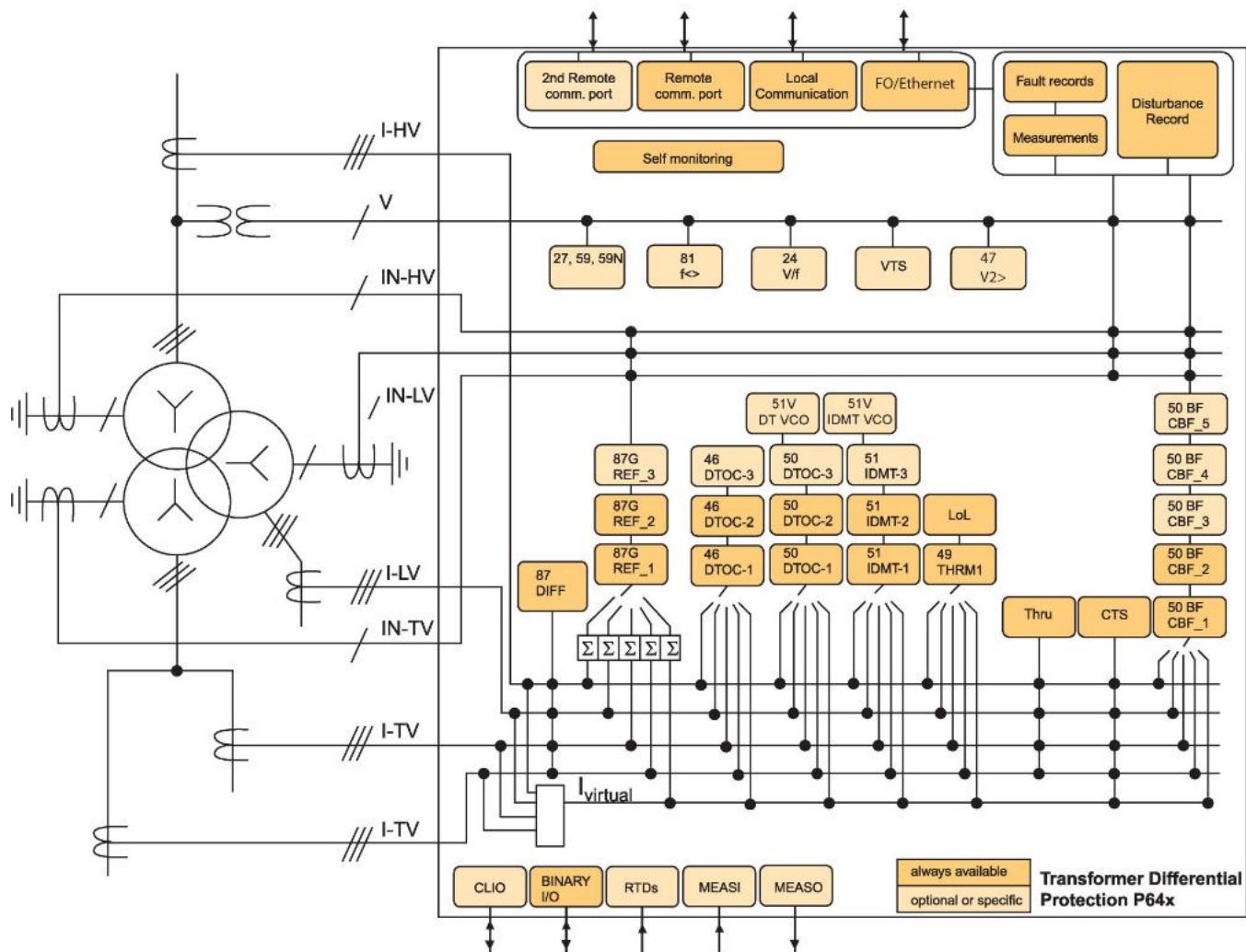


FIGURE 1: System Overview of the P64x series – example 3-winding, 4 bias application)

1. The three-phase VT input is optional. The additional single-phase VT input in P643/5 is optional.
2. The 27, 59, 59N functions require the three-phase VT input.
3. The frequency measurement required by the 81 function is obtained from any analog signal, but the voltage signals have priority over the current signals.

**Fast, sensitive protection for your valuable assets**

## MAIN PROTECTION

### 87T Transformer Differential

The algorithm has a triple slope percentage bias restraint, as shown in Figure 2. An internal fault will generate differential current. The bias current is that which merely flows through the protected unit, as a load or through-fed external fault. The initial characteristic is flat, for ease of commissioning, rising then to bias slope (k1). K1 is a low slope for sensitivity to faults whilst allowing for mismatch when the power transformer is at the limits of its tapchanger range, in addition to any current transformer ratio errors. At currents above rated, extra errors may be gradually introduced as a result of CT saturation, hence the bias slope increases to k2.

The P64x incorporates a transient bias characteristic that increases dynamically the operating current threshold during external faults, thus enhancing differential element stability and CT requirements. To improve the low set differential element operating times, the P64x has a CT saturation and no gap detection technique that prevents the second harmonic blocking from affecting the low set differential element. As a result, fast operating times are achieved during CT saturation and fault levels below high set one and two elements.

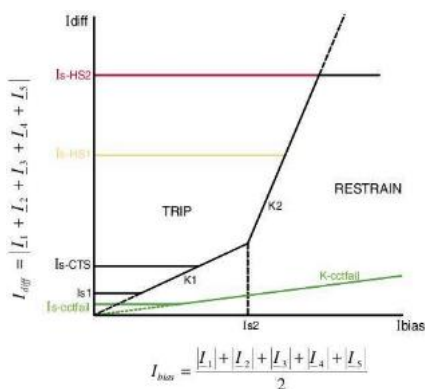


FIGURE 2: Biased differential protection (87T)

The CT saturation and no gap detection distinguish between magnetising inrush and saturated current waveforms. An external fault detection technique has been included to prevent the CT saturation and no gap detection from affecting the second harmonic blocking during external faults, thus maintaining stability.

Energisation of a transformer causes magnetising inrush current to flow in one winding only and the differential elements may need stabilising whilst the inrush persists (see Figure 3). A proven second harmonic current ratio scheme is used. The differential protection may also be restrained when the transformer is overfluxed so that an instantaneous trip is not issued for transient overfluxing. Overfluxing restraint is conditioned by the percentage of fifth harmonic current present. Two high set instantaneous differential elements, not subject to harmonic restraint, are provided to ensure rapid clearance of high current faults.

The differential protection setting configuration utility requires only known data – that which resides on the transformer rating plate, the CT rating plate and information on any in-zone earthing transformer.

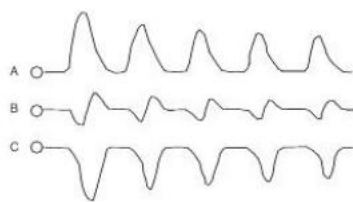


FIGURE3: Typical magnetizing inrush waveform –showing harmonic distortion

### REF: Restricted Earth (Ground) Fault

Restricted earth fault protection is included to cover a larger percentage of the transformer windings than might be possible with the main differential elements. A separate element per winding is provided (P642: HV and LV. P643/P645: HV, LV, and if required, the TV tertiary too). Low impedance and high impedance REF for conventional transformers and autotransformers are available.

Figure 4 shows a typical restricted earth fault application. Biased REF is used, to avoid the need for any stabilising resistor or varistor/metrosil. REF elements operate independently of inrush detection, potentially offering faster tripping for low or moderate fault currents, in addition to enhanced sensitivity. Low impedance REF element stability is enhanced by transient bias algorithm.

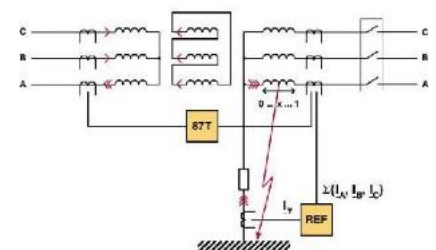


FIGURE4: Restricted earth fault application



### Thermal overload

All models offer thermal overload protection based on the IEEE Standard C57.91-1995, with the extent of protection being the choice of the customer. The most simple application employs I<sup>2</sup>t characteristic. Time constants are set, such that the thermal model can follow the correct exponential heating and cooling profile, replicating the winding hotspot temperature. Four cooling modes are available, and the oil exponent and winding exponent can be set independently for each mode. Alarm and trip thresholds are available as outputs.

To enhance the thermal replica, ambient and/or top-oil temperature compensation may be applied. This is achieved by fitting the RTD board option, and positioning the PT100 probes appropriately (outdoors, or within the transformer tank). Additionally, alarm and trip setpoints can be applied for any probe input, should an absolute measured temperature at the probe location be of interest. Ten independent probe inputs are available, making radiator pump and fan control an additional possibility using the relay's programmable scheme logic (PSL).

Thermal overload protection is a closely-related companion function to the Loss of Life monitoring feature described later.

### V/Hz overfluxing protection

The single-phase voltage input may be connected ph-ph or ph-neutral and is provided to enable overfluxing detection. Alarm and tripping characteristics, which are based on a measurement of the voltage/frequency ratio, are provided. The alarm is definite time delayed whilst the trip characteristic may be applied with up to four definite time (DT) elements, or an IDMT curve plus up to three DT elements.

The optional additional 3-phase VT input available in the P643 and P645 allows overfluxing to be applied on both HV and LV sides of the transformer, to ensure optimum protection, irrespective of the loadflow direction. Both thermal overload and overfluxing elements are essentially thermal based, modelling winding and oil heating, or heating of core bolts and laminations. Due to time constants being in minutes (rather than seconds), heating and cooling of both replicas can be relatively slow. A pre-trip countdown is provided, displaying the time remaining to trip if the present level of load, or flux were to be maintained. A pre-trip alarm can be applied, notifying the dispatcher that he/she has a certain number of minutes for remedial action, before a trip is likely. After any injection testing, all replicas can be forced to reset via a user command.

### Circuit breaker failure

The breaker failure protection may be initiated from internal protection within the P64x, and also from external devices. In the case of Buchholz (sudden pressure) relays, the CBF elements for all breakers must be initiated in parallel. Where external feeder or busbar protection is applied to trip only one (or more) breaker(s), the P64x has the ability to initiate the CBF scheme on a per breaker basis. Retripping and backtripping schemes are supported, all with a fast reset. A zero crossing detection algorithm has been implemented to allow fast reset of the CBF element considering subsidence current. The CBF element resets in less than 1 cycle. Independent settings per circuit breaker have been implemented. A neutral earth fault undercurrent element is available per circuit breaker, and it can be set as either measured or derived. A maximum of three single phase CT inputs are available to be used by the CBF.

### Supervisory functions

Voltage transformer supervision is provided to detect loss of one, two or three VT signals (P643 and P645 models fitted with a 3-phase VT and P642 fitted with 2 single phase VT inputs). Current transformer supervision is provided to detect loss of phase CT input signals. Using the "differential CTS" feature (patented), the relay performs an intelligent comparison of the negative sequence current imbalance at all CT terminals, to determine which, if any, CTs have failed. This comparison detects all CT shorts, open circuits, and wiring disconnections without an inherent time delay. Operation of the differential protection can be restraint during the failure to avoid an unwanted trip. The CTS thus assures real-time stability of the differential elements, and any applicable REF protection.

### BACK-UP PROTECTION

The P642, P643, and P645 are delivered with comprehensive back-up protection. Typically this will be used in time-delayed mode to improve fault detection dependability for system (out-of-zone) faults. System integrity can also be improved, utilising internal elements for load-shedding, interlocking, alarm, or other purposes.

### Current-based protection

Each winding, whether the current is directly measured from one CT input, or is a virtual summation from two CTs, has the following elements available:

- Phase fault overcurrent
- Negative sequence overcurrent
- Earth (ground) fault.

**Simple settings: intuitive wizards need only nameplate data**

Up to four stages of each element, per winding, are available – with a choice of standard IEC and ANSI/IEEE IDMT curves, instantaneous, and definite time operation. Where a P643/P645 has the 3-phase VT or a P642 has the 2 single phase VTs, any of the current protection applied on the same winding as the VT location may be directionalised. Overcurrent elements, directionalised if necessary, can be useful to clear reverse-fed upstream faults, or for protection of adjacent busbars. At distribution and industrial voltage levels, low-cost bus protection schemes can be configured using the “reverse interlocking” principle. This is a logic-based scheme, which will trip should a fault current flow onto the busbar not be accompanied by an external fault start on an outgoing circuit.

The earth fault protection is configurable to operate either in measured, or derived mode. “Measured” denotes that the winding (or external earthing transformer) has a star-point single phase CT available in the Y-ground connection, and the user wishes this current to be used to implement standby earth fault (SBEF). “Derived” is set for delta windings, or other cases where the user prefers to use the calculated residual current from the 3-phase CTs.

#### **Voltage protection \***

Two stages each are available for phase overvoltage and phase undervoltage in the P643/5 when the 3-phase VT is ordered. One stage is available for negative phase sequence overvoltage when the 3-phase VT is ordered (P643/5) or the 2 single phase VTs is ordered (P642). Residual overvoltage (neutral displacement) is also available when the 3 phase VT is ordered (P643/5). Such elements are particularly useful to detect voltage regulation errors and earth faults.

#### **Voltage Controlled Overcurrent Protection \***

In order to provide backup phase fault protection for generator-transformers or to provide more sensitive overcurrent protection for close up faults, a voltage controlled overcurrent element

is included. Two definite time or IDMT stages are available.

#### **Frequency protection**

Four stages of underfrequency and two stages of overfrequency are provided, permitting load shedding and restoration schemes to be implemented. The frequency protection may consider any analogue signal, having the voltage signal the preference.

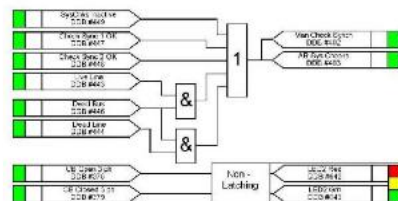
#### **CONTROL**

##### **User interface**

Integrated user function keys and programmable LEDs provide a cost-effective solution for full transformer schemes. The P643 and P645 offer higher functionality, with ten function keys operating in two modes, normal and toggled, each with an associated tricolour LED for clear indication of the logic status. Typical control, maintenance, and commissioning options are initiated directly from simple key presses, rather than the need to navigate a menu.

##### **Programmable scheme logic**

Powerful graphical logic allows the user to customise the protection and control functions. The gate logic includes OR, AND and majority gate functions, with the ability to invert the inputs



and outputs and provide feedback. The system is optimised to ensure that the protection outputs are not delayed by the PSL operation. The programmable scheme logic is configured using the graphical S1 Agile software, as shown in Figure 5. The relay outputs may be configured as latching (e.g. “Lockout”) or self-reset. Time delays and interlocking schemes are possible within the PSL.

#### **CONDITION MONITORING**

##### **Loss of life (LoL)**

Frequent excesses of transformer rated current or operation at elevated temperatures will shorten the life expectancy of the transformer. The P64x provides a transformer loss-of-life calculation, using a thermal model that estimates the hot spot temperature. The insulation deterioration is assumed to follow an adaptation of the Arrhenius theory where insulation life and absolute temperature are inversely proportional (as per IEEE Std. C57.91-1995).

The LoL implementation includes:

- Daily writing into non-volatile memory
- Accumulated Loss of Life, Rate of Loss of Life, Ageing Acceleration Factor, and Residual Life Hours stored
- Alarm setpoints available on attaining instantaneous or cumulative levels
- Statistics can be reset if a device is relocated to monitor another transformer



Figure 5 Programmable scheme logic & S1 Agile: a powerful and intuitive PC-toolsuite

\* - Available when optional 3-phase VT input is ordered in P643 or P645 and 2 single phase VT inputs is ordered in P642

### Through fault monitoring

Through faults are a major cause of transformer damage and failure, stressing the insulation and mechanical integrity. An I<sup>2</sup>t calculation based on recorded duration and maximum current is stored for each phase. Calculation results are added to cumulative values, and monitored so that users can schedule transformer maintenance or identify a need for system reinforcement. The last five triggers are stored as special individual records.

### MEASUREMENT AND RECORDING

#### Power system measurements (MMXU)

Multiple measured analog quantities, with phase angles, are provided. These include:

- Phase and neutral currents for all windings, plus sequence components
- Measurements of all voltage inputs
- Frequency, power factor, Watts and VARs
- Maximum demand and rolling values
- Bias currents, differential currents
- All thermal states, temperatures, and loss-of-life
- Measurements can be assigned to CLIO

#### Event records

Time-tagged event records are stored in battery backed memory. An optional modulated or demodulated IRIG-B port is available for accurate time synchronisation.

#### Fault records

- Indication of the faulted phase
- Protection operation
- Active setting group
- Relay and CB operating time
- Pre-fault and fault currents
- Bias and differential currents

#### Disturbance records

High performance waveform records contain all CT and VT input channels, plus up to 32 digital states, extracted in COMTRADE format.

### Alstom track record - Transformer protection

- Large installed base and pedigree of transformer differential relay supply, with models including DTH, MBCH, MX3DPT, KBCH, and MiCOM ALSTOM P64x
- Over 50 000 units of these relay types are in service worldwide
- Couple a P64x with P14x feeder solutions and KVGC voltage regulation for a full transformer protection and control solution

### IEC 61850-9-2 process bus interface

An optional process bus interface is available, allowing the relay to receive current and voltage sampled data from non-conventional instrument transformers such as optical and Rogowski devices. In other digital substation architectures, the -9-2 data is generated by merging units in the yard, which digitize conventional 1 A/5 A and 100/120 V secondaries, for safer and more economical cross-site communication to IEDs by fibre optic. Alstom's -9-2 implementation has been designed to be especially resilient and reliable in the presence of "noise", such as latency, jitter or missing/suspect data.

### PLANT SUPERVISION

#### Trip circuit supervision

Supervision of the trip circuit can be implemented using optocoupled inputs and the programmable scheme logic.

#### Analogue (current loop) inputs and outputs (CLIO)

Four inputs are provided for transducers with ranges of 0-1 mA, 0-10 mA, 0-20 mA or 4-20 mA. Associated with each input there are two time delayed protection stages, one for alarm and one for trip. Each stage can be set for 'Over' or 'Under' operation.

### COMMUNICATION TO REMOTE OPERATORS AND SUBSTATION AUTOMATION

Two auxiliary communication ports are available; a rear port providing remote communications and a front port providing local communications.

An additional, second rear port can be ordered as an option. Any of the following rear port protocols can be chosen at the time of ordering: Courier/K-Bus, MODBUS, IEC60870-5-103, DNP3.0, or IEC 61850. An Ethernet port is available as an option for IEC61850 or DNP3.0. Redundant Ethernet is available, optionally managed by the market's fastest recovery time protocols: 'self-healing' ring and 'dual homing' star, allowing bumpless redundancy. IEC 62439 PRP, Hotstandby and RSTP are also available, offering multi-vendor interoperability.

#### Second rear courier port

The optional second port is designed typically for dialup modem access by protection engineers / operators, when the main port is reserved for SCADA traffic.

#### Quality Built-in (QBi)

Alstom Grid's QBi initiative has deployed a number of improvements to maximise field quality. Harsh environmental coating is applied to all circuit boards to shield them from moisture and atmospheric contamination. Transit packaging has been redesigned to ISTA standard, and the third generation of CPU processing boosts not only performance, but also reliability.

## Programmable logic and control scheme flexibility

For more information  
please contact Alstom Grid:

Alstom Grid Worldwide Contact Centre  
[www.alstom.com/grid/contactcentre/](http://www.alstom.com/grid/contactcentre/)

Phone: +44 (0) 1785 250 070

Visit us online: [www.alstom.com](http://www.alstom.com)

# MiCOM Alstom P14x

## Feeder management relays

**MiCOM Alstom P14x feeder management relays are integrated solutions for the complete protection, control and monitoring of overhead lines and underground cables from distribution to transmission voltage levels.**



The wide range of auxiliary functions provides the user with sufficient information to efficiently maintain the power system and its components, including circuit breakers, CTs, VTs, etc.

A customisable, friendly, multi-lingual user interface and programmable graphical scheme logic allows for simple and flexible applications on any network.

With optional High Speed - High Break contacts, the high break performance ensures no burn-out of contacts during normal operation or situations such as breaker failure, or defective CB auxiliary contacts. The need for external electromechanical trip relays can be reduced/removed by transferring the high rating and durability duties into the MiCOM ALSTOM device, thus providing further application and cost benefits.

Connecting the relay to virtually any kind of Substation Automation System or SCADA is made possible by the wide range of updated communication protocols, including IEC 61850. A range of hardware interfaces are available for easy integration into any new or legacy system.

### Customer benefits

- 1A & 5A in same relay
- Wide auxiliary supply voltage range
- Option of multiple communication protocols and interfaces, including IEC 61850
- User customisable menu

**Your search for a single box feeder management relay ends with MiCOM P14x**

## Protection functions overview

	IEC 61850		P141	P142	P143
50/51/67	OcpPTOC/RDIR	Directional / non-directional, instantaneous / time delayed phase overcurrent (6 stage)	•	•	•
50N/51N/67N	EfdPTOC/EfmPTOC	Directional / non-directional, instantaneous / time delayed, measured earth fault (4 stage)	•	•	•
67N	SenEftPTOC	Sensitive directional earthfault (SEF/ I Cos I Sin) (4 stage)-	•	•	•
67W	SenEftPTOC	Wattmetric earthfault	•	•	•
YN		Neutral admittance protection	•	•	•
64	SenRefPDIF	Restricted earthfault	•	•	•
		Blocked overcurrent	•	•	•
		Selective overcurrent	•	•	•
		Cold load pick-up	•	•	•
51V		Voltage controlled overcurrent	•	•	•
46	NgcPTOC	Directional / non-directional negative sequence overcurrent	•	•	•
49	ThmPTTR	RMS thermal overload (single / dual time constant)	•	•	•
37P / 37N		Phase and neutral undercurrent	•	•	•
27	VtpPhsPTUV	Under voltage (2 stage)	•	•	•
59	VtpPhsPTOV	Over voltage (2 stage)	•	•	•
59N	VtpResPTOV	Residual over voltage (neutral displacement) (2 stage)	•	•	•
47	NgvPTOV	Negative sequence overvoltage	•	•	•
81U	PTUF	Under frequency (9 stage) - Advanced	•	•	•
81O	PTOF	Over frequency (9 stage) - Advanced-	•	•	•
81R	PFRC	Rate of Change of Freq. Prot. (9 stage) - Advanced)	•	•	•
81RF		Frequency supervised rate of change of frequency (9 stage) - Advanced	•	•	•
81RAV		Average rate of change of frequency (9 stage) - Advanced	•	•	•
		Freq. based load restoration (9 stage) - Advanced	•	•	•
		Rate of change of voltage protection (2 stage)	•	•	•
BC		Broken conductor (open jumper)	•	•	•
50BF	RBRF	Circuit breaker failure	•	•	•
VTS		Voltage transformer supervision (1, 2 & 3-phase fuse failure detection)	•	•	•
CTS		Current transformer supervision	•	•	•
49SR		Silicon rectifier overload protection	•	•	•
79	RREC	4 shot three pole auto reclose		•	•
25	RSYN	Check synchronising			•
	2nd Harm Block	2nd harmonic blocking	•	•	•
32R/32L/32O		Phase segregated power	•	•	•
		Sensitive power	•	•	•
	OptGGIO	Digital inputs (maximum) *	8	16	32
	RlyGGIO	Output relays (maximum) (Hi Break - Hi speed option available)*	8	15	32
		Front communication port (RS232)	•	•	•
		Rear communication port (RS485/Optic/Ethernet) *	•	•	•
		Second rear communication port (RS232/RS485) *	Option	Option	Option
		Time synchronisation port (IRIG B modulated/un-modulated) *	Option	Option	Option
		InterMiCOM teleprotection for direct relay - relay communication EIA(RS) 232 for MODEM links upto 19.2kbit/sec	Option	Option	Option

\* It may not be possible to get all in one particular model, refer data sheet for model selection

### Application

The MiCOM ALSTOM P14x range is suitable for all applications where overcurrent protection is required. It is suitable for solidly earthed, impedance earthed, Petersen coil earthed and isolated systems. The first application shows a parallel transformer protection where the P141 replaces many of the discrete protection elements normally associated with the LV side of the transformer. The protection includes nondirectional and directional phase overcurrent and earth fault, restricted earth fault and circuit breaker failure protection. The second application shows a P143 protecting a plain feeder using phase overcurrent, sensitive earth fault, negative sequence overcurrent, thermal protection and breaker failure protection. The integral autorecloser with check synchronising can be configured to grade with downstream reclosers.

### Management functions

In addition to the wide range of protection functions listed in the table, all relays in the P14x range are provided with the following measurement, control, monitoring, post fault analysis and self-diagnostic functions.

- Measurement of all instantaneous & integrated values
- Circuit breaker control, status & condition monitoring
- Trip circuit and coil supervision
- 4 alternative setting groups
- Control inputs
- Fault locator

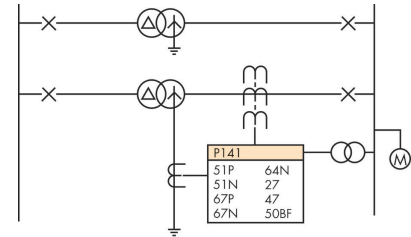
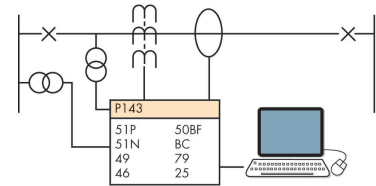
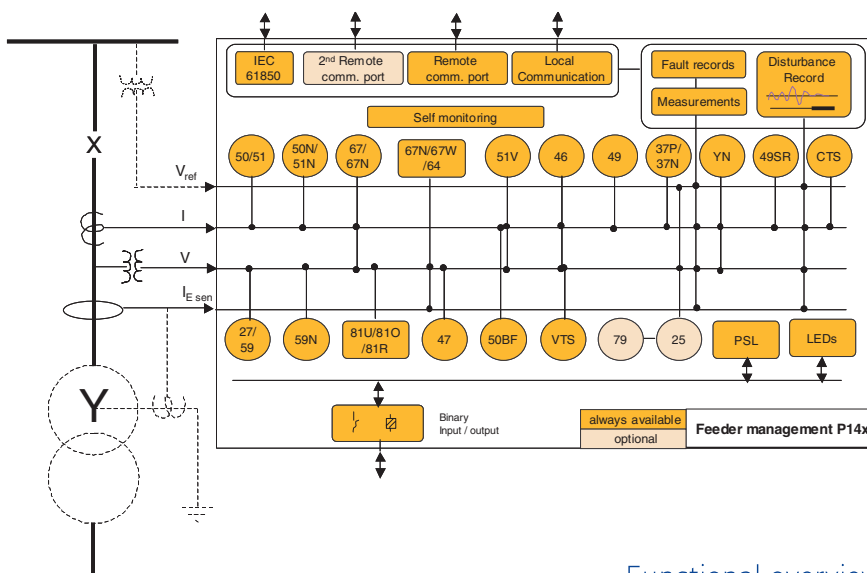


Figure 2a: Typical parallel transformer application



Typical applications of P14x

- Programmable scheme logic
- Programmable allocation of digital inputs and outputs
- Sequence of events recording
- Comprehensive disturbance recording (waveform capture)
- User configurable LEDs
- Local and remote communication ports
- Multiple communication protocol and interface options
- Time synchronisation
- Fully customisable menu
- Multi level password protection
- Power-up diagnostics and continuous self-monitoring of relay
- User friendly settings and analysis software
- Read only mode
- Enhanced opto input time stamping
- Enhanced check sync. feature



### Functional overview

(Description of ANSI code nos. See Protection function overview)



### Phase overcurrent

Six independent stages are available for each phase overcurrent element. Each stage may be selected as non-directional or directional (forward/reverse). All stages have definite time delayed characteristics, three of the stages may also be independently set to one of ten IDMT curves (IEC and IEEE).

The IDMT stages have a programmable reset timer for grading with electro-mechanical relays, to reduce autoreclose dead times and to reduce clearance times where intermittent faults occur.

The phase fault directional elements are internally polarised by quadrature phase -phase voltages, and will make a correct directional decision down to: 0.5V ( $V_n = 100 - 120V$ ) or 2.0V ( $V_n = 380 - 480V$ ). A synchronous polarising signal is maintained for 3.2s after voltage collapse to ensure that the instantaneous and time delayed overcurrent elements operate correctly for close-up 3-phase faults.

### Standard earth fault

There are two standard earth fault elements, each with four independent stages.

- The first element operates from measured quantities:
- Earth fault current which is directly measured using a separate CT, or Residual connection of the three line CTs
- The second standard earth fault element operates from a residual current that is derived internally from the summation of the 3-phase currents.

All earth fault elements have the same directionality and IDMT characteristics as the phase overcurrent element. Both earth fault elements may be enabled at the same time providing directional earth fault protection and back-up standby earth fault protection in the same device. The directionality of the earth fault elements is provided by either residual voltage or negative sequence voltage.

### Sensitive earth fault

A core balance CT should be used to drive the sensitive earth fault function. The directionality of the sensitive earth fault element is provided by the residual voltage.

### Wattmetric

As an alternative to the directional earthfault characteristic, a directional  $I \cos$  characteristic can be used for Petersen coil earth fault protection using the sensitive earth fault input. A directional  $I \sin$  characteristic is also available for protection of insulated feeders.

### Blocked over current

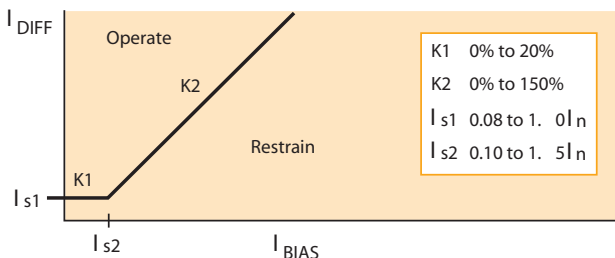
Each stage of overcurrent and earth fault protection can be blocked by an optically isolated input. This enables overcurrent and earth fault protection to integrate into a blocked overcurrent busbar protection scheme.

### Cold load pick-up logic

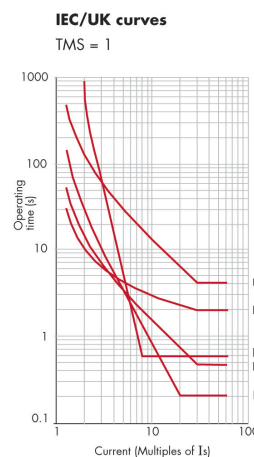
Cold load pick-up temporarily raises the overcurrent settings following closure of the circuit breaker, allowing the protection settings to be set closer to the load profile.

### Restricted earth fault

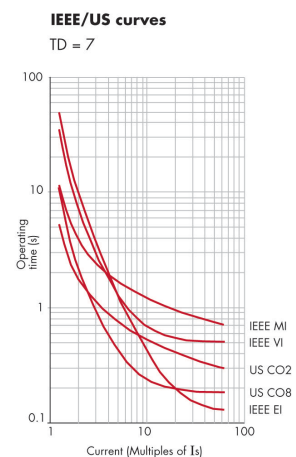
The restricted earth fault protection provided for protection of transformer windings against earth faults may be configured as either high impedance or low impedance biased differentials.



REF biased differential characteristics



TMS 0.025 to 1.2



TD 0.5 to 15

Choice of IDMT characteristics

## Features carefully designed to protect any type of system

### 2nd harmonic blocking

The 2nd harmonic blocking detects high inrush current inflows that occur when transformers or machines are connected. The function will block the phase overcurrent, earth fault, sensitive earth fault and negative sequence overcurrent.

### Voltage controlled overcurrent

Voltage controlled overcurrent provides back-up protection for remote phase faults whilst remaining insensitive to load.

### Negative sequence overcurrent

Negative sequence overcurrent protection can be set as either non-directional or directional (forward/reverse), and can operate for remote phase-phase and phase earth faults even with delta-star transformers present.

### RMS thermal overload

Thermal overload protection provides both alarm and trip stages. The thermal element may be set with either a single time constant characteristic for the protection of cables or dry transformers, or a dual time constant characteristic to protect oil-filled transformers. In the event of loss of auxiliary supply, the thermal state is stored in non-volatile memory.

### Under/ Overvoltage & rate of change of voltage

Under/overvoltage protection may be configured to operate from either phase-phase or phase-neutral quantities. Two independent stages with definite time elements are available, one of the stages can also be configured to an inverse characteristic. Two stages of rate of change of voltage protection elements are also available, which can be set independently.

### Residual overvoltage

Residual overvoltage protection is available for detecting earth faults in high impedance earthed or isolated systems. The neutral voltage is derived from the 3-phase voltage inputs. Two independent measuring elements with definite time characteristics are available and one of the elements can also be configured to have an inverse characteristic.

### Frequency

Nine stages each of: over frequency, under frequency, rate of change of frequency, frequency supervised rate of change of frequency, average rate of change of frequency, frequency based load shedding during severe system disturbances.

### Broken conductor

The broken conductor protection detects unbalanced conditions caused by broken conductors, maloperation of single phase of switchgear or by single phasing conditions. It operates on the ratio of  $I_2$  to  $I_1$ .

### Phase segregated power

Two stages of power protection are provided and each stage can be independently configured to operate as over power or under power and forward or reverse direction. The relays provide a standard 3-phase power protection element and also a single-phase power protection element.

### Sensitive power

Two stages of sensitive power protection are provided and these can be independently selected as reverse power, over power, low forward power or disabled depending on the operating conditions.

### Voltage transformer supervision

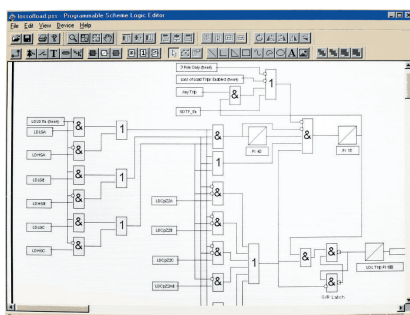
Voltage transformer supervision is provided to detect loss of one, two or three VT signals, providing indication and inhibition of voltage dependent protection elements. An optically isolated input may also be configured to initiate the voltage transformer supervision alarm and blocking when used with MCBs or other external forms of voltage transformer supervision.

### Current transformer supervision

Current transformer supervision is provided to detect loss of phase CT signals and inhibit the operation of current dependent protection elements.

### Programmable scheme logic

Programmable scheme logic allows the user to customise the protection and control functions. It is also used to program the functionality of the optically isolated inputs, relay outputs and LED indications. The programmable scheme logic comprises gate logic and general purpose timers. The gate logic includes OR, AND and majority gate functions, with the ability to invert the inputs and outputs, and provide feedback. The programmable scheme logic is configured using the graphical S1 Studio PC based support software



Programmable scheme logic editor (S1 Studio)

### Circuit breaker failure protection

Two-stage circuit breaker failure protection may be used for tripping upstream circuit breakers and for re-tripping the local circuit breaker if required. The circuit breaker failure logic may also be initiated externally from other protection devices if required.

### Circuit breaker control

Circuit breaker control is available from the front panel user interface, optically isolated inputs and remotely via the substation communications.

### Autoreclose with check synchronising

The P142 and P143 provide three-pole multi-shot autoreclose. The user may select a single, two, three or four shot autoreclose cycle, with independently settable dead times and reclaim time. Autoreclose can be initiated from the internal protection elements or from external protection via an opto input. Advanced features include live line working and sequence coordination (co-ordination with downstream reclosing equipment). The P143 also includes check synchronisation.

### Measurement and recording facilities

The P14x series is capable of measuring and storing the values of a wide range of quantities. All events, fault and disturbance records are time tagged to a resolution of 1ms using an internal real time clock. An optional IRIG-B port is also provided for accurate time synchronisation. A lithium battery provides backup for the real time clock and all records in the event of auxiliary supply failure. This battery is supervised and easily replaced from the front of the relay.

### Measurements

The measurements provided, which may be viewed as primary or secondary values, can be accessed by the back-lit liquid crystal display, or the communications ports. A wide range of instantaneous and integrated parameters are available. The list includes measured signals like phase currents and voltages and computed signals like power, frequency, energy, etc. Phase currents and phase to neutral voltages are available in true rms and fundamental quantities. Phase notation is user definable using the MiCOM ALSTOM S1 text editor.

### Fault location

A fault location algorithm provides distance to fault in miles, kilometres, ohms or percentage of line length.

### Event recordings

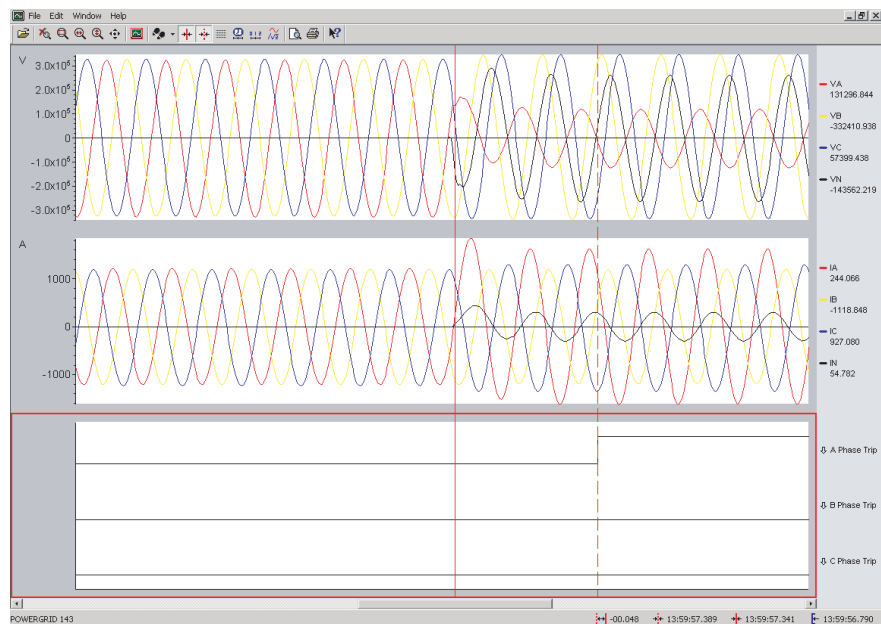
Up to 512 time-tagged event records are stored in battery backed memory and can be extracted using the communication ports or viewed on the front panel display.

### Disturbance records

The internal disturbance recorder has 8 analogue channels, 32 digital and 1 time channel. Approximately 50 records of 0.5 s duration can be stored. All channels and the trigger source are user configurable. Disturbance records can be extracted from the relay via the remote communications and saved in the COMTRADE format. These records may be examined using S1 Studio or any suitable software program.

### Trip circuit supervision

Supervision of the trip circuit in both circuit breaker open and closed states can be realised using the optically isolated inputs and programmable scheme logic.



Programmable scheme logic editor ( S1 Studio)

### Fault records

Records of the last 5 faults are stored in battery backed memory. The information provided in the fault record includes:

- Indication of faulted phase
- Protection operation
- Active setting group
- Date and time
- Fault location
- Relay and CB operating time
- Currents, voltages and frequency

### Circuit breaker condition monitoring

The circuit breaker condition monitoring features include:

- Monitoring the number of breaker trip operations
- Recording the sum of the broken current quantity  $I_x$ ,  $1.0 \times 2.0$
- Monitoring the breaker operating time
- Fault frequency counter

### Local and remote communications

Two communication ports are available as standard: a rear port providing remote communications and a front port providing local communications. The front RS232 port has been designed for use with S1 Studio, which fully supports functions within the relay by providing the ability to: program the settings off-line, configure the programmable scheme logic, extract and view events, disturbance and fault records, view the measurement information dynamically and perform control functions. The default remote communications are based on RS485 voltage levels. Any of the protocols listed below can be chosen at the time of ordering:

- Courier / K-bus
- Modbus
- IEC60870-5-103 (optic interface also available)
- DNP 3.0
- IEC 61850 (over 100 Mbit/s, fibre/copper ethernet)

### Different communication interfaces of P14x

IEC 61850 are available when the optional ethernet port is ordered. IEC 61850 offers high-speed data exchange, peer-to-peer communication, reporting, disturbance record extraction and time synchronisation. Redundant ethernet is available in various options (self healing ring, RSTP and dual homing star). P14x has 128 virtual inputs with an improved GOOSE performance.

An optional second rear courier port is available, which may be configured as RS232, RS485 or K-Bus.

### Diagnostics

Automatic tests performed, including power-on diagnostics and continuous self-monitoring, ensure a high degree of reliability. The results of the self-test functions are stored in battery backed memory. Test features available on the user interface provide examination of input quantities, states of the digital inputs and relay outputs. A local monitor port provides digital outputs, selected from a prescribed list of signals, including the status of protection elements. These test signals can also be viewed using the communication ports and front panel user interface.

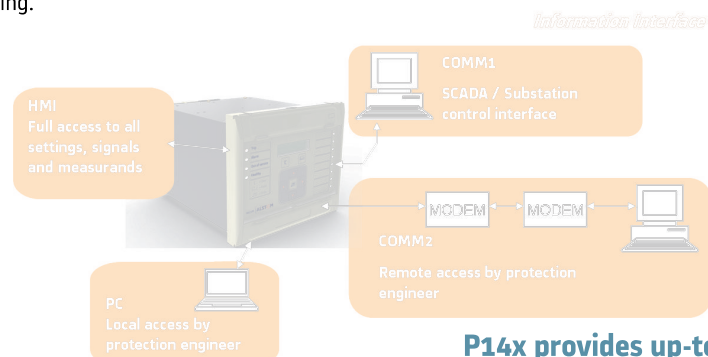
### Hardware

All models within the P14x series include:

- A back-lit liquid crystal display
- 12 LEDs (8 programmable)
- An optional IRIG-B port
- An RS232 port & an RS485 port
- An optional RS232/RS485/K-Bus port
- An optional ethernet port for IEC 61850 protocol
- A download/monitor port
- A battery (supervised)
- N/O and N/C watchdog contacts
- Supervised +48V field voltage
- 1A/5A dual rated CTs

Expansion cards are available to increase the number of digital inputs and outputs for the P142 and P143. Also, depending on the relay model, up to eight hi speed-hi break contacts are available as an option. This will protect against burnt contacts due to a stuck breaker or defective breaker auxiliary contact conditions.

The optically isolated inputs are independent and may be powered from the +48V field voltage. The relay outputs may be configured as latching or self reset. All CT connections have integral shorting.



**P14x provides up-to-date and versatile communication options**

### Alstom device track record

- KCGG/KCEG - First numerical overcurrent relay launched 1993 and sold over 20000 units.
- P14x series introduced in 1999. Worldwide application, with over 55000 units delivered.
- Introduction of phase II hardware of P14x in 2002.
- Addition of UCA2 protocol and ethernet port in 2004.
- Addition of IEC 61850 protocol in 2006.

# MiCOM C264

## Modular substation controller

**Alstom's C264 substation controller is a sophisticated solution supporting many applications and functions for substation control, communication, monitoring, protection and automation.**



Flexibility, reliability and ease of use are among the top features required in a substation computer; the MiCOM C264 has these features.

A combination of dual redundant fibre optic Ethernet, modular I/O, an expandable design and an extensive library of functions make the C264 the ideal solution for a wide array of applications in substation digital control systems.

In addition to the traditional data management (inputs and outputs) the MiCOM C264 can be used as a:

- > Remote Terminal Unit (RTU)
- > Bay computer
- > Feeder manager (protection & control)
- > Substation automation processor
- > Sequence of Events Recorder (SER)
- > Automatic Voltage Regulator (AVR)
- > Measurement centre
- > Load shedding controller
- > Protocol converter
- > Substation gateway

### Customer benefits

- Flexible, modular, expandable design, supporting many applications
- Suitable for retrofitting and modernizing existing installations
- Provides both legacy and cutting edge communication interfaces
- LCD graphical display for user-friendly local control, monitoring, and maintenance
- Proven solution, with more than 30,000 units installed worldwide

### Seamless modernisation of existing installations

The C264 provides seamless integration with existing substation assets, thanks to its flexible interfaces and native expandability. Its powerful processing, communication and configuration facilities make it the ideal tool for upgrading substation supervision, automation and maintenance.

### Innovative real-time automation schemes

MiCOM C264 enables innovative automation schemes thanks to extremely fast (event driven) Programmable Scheme Logic (PSL) and robust Programmable Logic Control (PLC).

### Optimised engineering

The multifunctional capabilities of the C264 optimise system engineering as fewer devices result in less wiring, training and maintenance.



## Applications

### Bay/substation interlocking

Alstom's C264 provides two methods of interlocking:

- A logical equation based method
- A topology based method, using predefined rules and substation topology

Interlocks are managed as close to the process as possible in order to provide the best security of operation. Interlocking conditions are graphically displayed in order to immediately identify the interlocking conditions (if any) and make the appropriate changes before issuing the command.

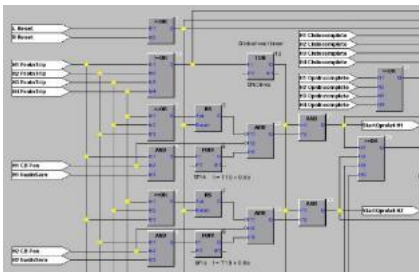


Figure 1 Sample logical equations

### Trip circuit supervision

The purpose of this function is to supervise the continuity of the trip circuit of a circuit breaker. Two options are available: two wires or four wires. The two-wire option verifies the trip circuit continuity when the circuit breaker is closed.

The four-wire option permits verification of the continuity whether the CB is open or closed. In the case of single phase circuit breakers the C264 can supervise the continuity of the trip circuit separately for each phase.

### Automatic Voltage Regulation (AVR)

The Automatic Voltage Regulation (AVR) function is used to automatically maintain the correct secondary side voltage of a tap changing transformer.

AVR in the MiCOM C264 is a compact voltage regulation solution for IEC61850 systems in electrical substations. It is able to manage one transformer or up to four transformers in parallel.

C264 AVR provides:

- Active and reactive compounding in order to maintain the voltage at a remote location
- Homing in order to adjust a transformer to the voltage of the busbar to which it will be connected
- For transformers in parallel: Minimizing circulating current method, master/follower mode
- Optimised transformer ratio

### Auto-recloser

The MiCOM C264 can manage one auto-recloser per bay (up to 12 bays per unit). The integrated auto-reclosers can operate in 1 phase and/or 3 phase mode. Up to four auto-reclosing cycles are available and the time delay for each is independently configurable. Auto reclosers can be initiated either internally in the bay unit or via external protection devices using digital inputs.

### Synchro-check

The synchro-check function can be used in conjunction with automatic or manual reclosure. The function (limited to one bay) determines the difference between the amplitude, phase angles and frequencies of two voltage vectors and uses this information to determine whether or not to close the breaker. Locking and coupling modes are available and a deadline and dead bus logic are also included.

### IED gateway and data concentrator

One of the main features of the C264 is to concentrate and process data. This information can come from a variety of sources, both analogue and digital. For example, when re-using existing equipment, analogue data can be acquired directly from current and voltage transformers and digital data can be acquired over serial communication links or via hardwired links.

The MiCOM C264 manages many types of data: tap positions, controls, measurements, disturbance records, settings, etc. Each item of qualified data is uniquely referenced in order to ensure full consistency of the information, as well as allowing it to be re-used in other parts of the system.



Figure 2 MiCOM C264 front view (40TE variant)

### Remote Terminal Unit (RTU)

The MiCOM C264 can be used as a Remote Terminal Unit (RTU), offering a powerful solution for SCADA communication, Sequence of Event Recording (SER), and can be integrated into a substation Digital Control Systems (DCS).

- Up to 5012 digital inputs
- Up to 1024 digital outputs
- Up to 15 independent acquisition racks, communicating over Ethernet
- Up to 4 serial links on a rack (RS232/RS485/optical)
- Up to 2 simultaneous SCADA connections
- Up to 16 IEDs connected via each RS485 serial interface

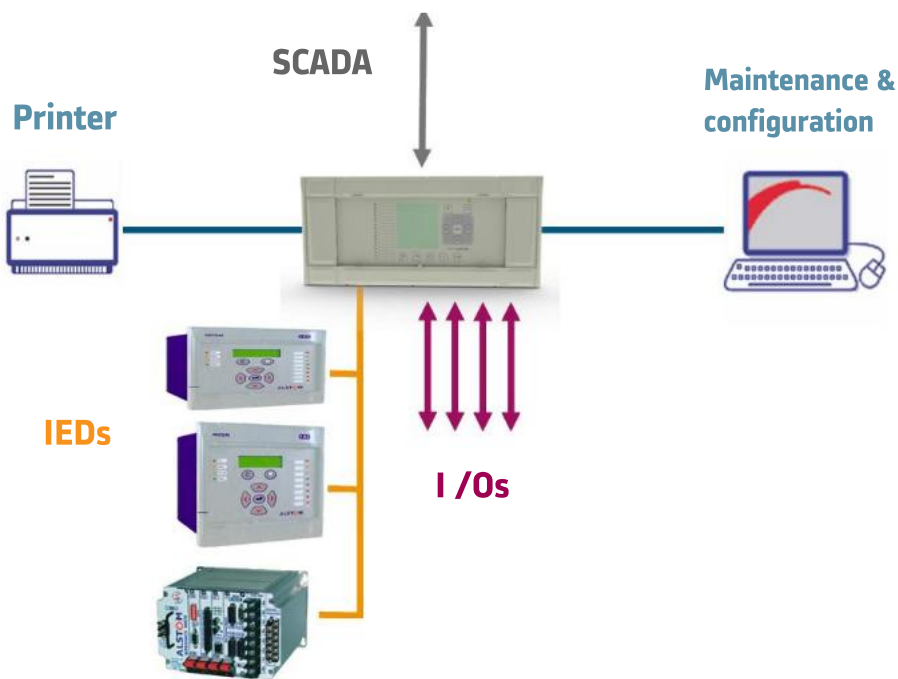


Figure 3 Simple Alstom's DCS architecture using a single C264 substation controller

### Sequence of Events Recorder (SER)

A reliable Sequence of Events Recorder (SER) is integrated into the MiCOM C264 for accurate event monitoring in electrical substations. Benefiting from accurate time synchronisation, maintenance over Ethernet and an expandable architecture, the SOE function is able to locally store and print up to 2000 time stamped events with a 1ms resolution. The 200 most recent events can be viewed on the local LCD screen. It also offers printer status monitoring.

### Feeder protection and control

The MiCOM C264 provides feeder management functionality through an optional independent dedicated module, hosting powerful protection and automation functions. An efficient one box solution for HV and MV applications such as:

- MV feeder lines,
- Overhead lines and underground cables (back-up protection on HV systems)
- Insulated, solid or resistance earthed and Petersen coil earthed neutral system,
- Industry, Transport
- Generator and transformer schemes

The C264 substation bay controller supports the following protection functions:

- Phase & earth overcurrent (50/51, 50N/51N),
- Phase & earth directional overcurrent (67, 67N),
- Wattmetric (32N),
- Negative sequence overcurrent (46).
- Undercurrent (37),
- Undervoltage (27) and Overvoltage (59) and residual Overvoltage (59N)
- Over and Under-frequency (81O/81U),
- Rate of frequency change (81R)
- Thermal overload (49)
- Breaker failure (50BF)

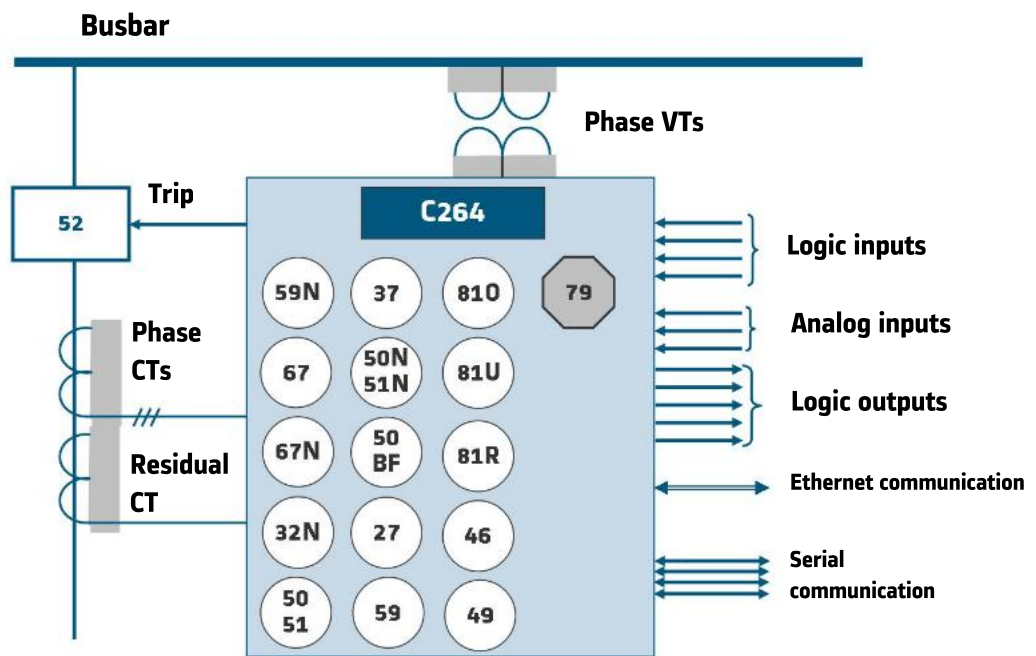


Figure 4 Protection functions in the MiCOM C264

## Features

### Communication protocols

Alstom's MiCOM C264 is fully compatible with many communication standards such as UCA2/IEC 61850, IEC 60870-5-104, DNP3, IEC 60870-5-101/103, and MODBUS.

### Redundancy

At substation level and / or bay level an optional redundant C264 can be used to avoid the loss of critical functions.

### Digital inputs

The MiCOM C264 offers five types of digital inputs:

- Single point
- Double point
- Multiple point
- System input for internal C264 information
- Logical combination of digital inputs

All inputs are acquired and time-stamped with an accuracy of 1 ms.

### Digital input processing

In addition to de-bouncing many customisable filtering functions can be used to process digital inputs, including:

- Toggle filtering
- Persistence filtering
- Motion filtering
- Undefined state filtering

Additionally a digital input can be manually suppressed, substituted, forced invalid and detected as faulty. Digital inputs can then be transmitted on the substation LAN using the desired protocol.

### Binary counters

Two types of binary counter are available; single counters for single data points and double counters for double data points. Counters can be transmitted periodically or on request. In the event of a supply interruption the counters can resume from their previously stored values.

### Digital outputs

Digital outputs can be used to apply a switching voltage to an external device. These outputs can be controlled in one of three ways:

- Select Before Operate once (SBO once)
- Select Before Operate many (SBO many)
- Direct execution

The SBO once mode is used for controls via set points or ancillary devices, as well as synchronised or non-synchronised circuit breakers, transformers, disconnectors and earthing switches. The SBO many (selection, execution, and de-selection) control sequence is used for the control of transformers.

### Encoded digital data

The MiCOM C264 can interpret a group of digital inputs as an encoded digital value. Binary, Binary Coded Decimal (BCD), gray code, decimal and 1 among N types of encoding can all be processed. These values can represent data such as process measurements and tap positions.

### Analogue inputs

Analogue measurements can be acquired from either an analogue input board, a transducerless measurement board (for current and voltage transformers) or via a communication network.

### Analogue outputs

Analogue outputs can be used to interface with auxiliary devices (measurement viewers, generators, motors, etc). The Analogue outputs are powered from an external supply (48VDC) and can maintain their value even if the C264 is powered down.

### Measured and derived values

Directly measured values of voltage and current can be measured using the transducerless measurement board. Many different values can be calculated from the measured values including:

- RMS currents and voltages
- Network frequency and phase angle
- Active, reactive and apparent powers – total and per phase
- Power factor
- Sequence components
- Derivatives:  $dF/dt$ ,  $dV/dt$ , etc

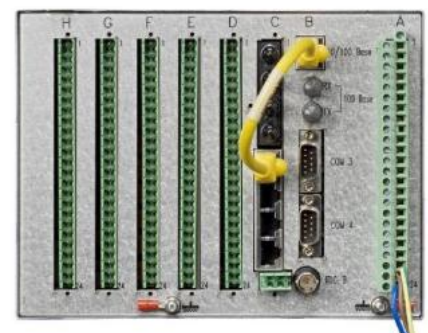


Figure 5 MiCOM Alstom C264 rear view (40TE variant)

### Waveform recording

The MiCOM C264 provides two types of waveform recording, Fast Waveform Record (FWR), which stores samples at the maximum sampling frequency and Slow Waveform Record (SWR), which stores RMS measurements over a longer period. Both modes can run simultaneously. Recording can be triggered by, the change of state of binary digital inputs/outputs, measurement threshold violations and a request from an operator. Waveform records are stored using COMTRADE 2001 binary format.

### Power quality

Alstom's C264 can measure the percentage Total Harmonic Distortion (THD) (up to and including 15th harmonic) and the Total Demand Distortion (TDD) on voltage and currents.

### Self monitoring

Comprehensive self-monitoring procedures, including power-on and continuous testing, ensure that internal hardware or software errors are detected and do not cause malfunctions. If a fault is detected an alarm will be issued and/or the watchdog contacts will change state depending on the fault severity.

### Maintenance web server

The maintenance web server can be used to visualise maintenance data (Hardware/Software, Communication, I/O values) and to download the up-to-date event log. It is directly accessible with a standard Internet Browser.

### Programmable logic

An operator can configure specific control sequences or automation schemes (e.g. automatic switching, System Integrity Protection Schemes (SIPS), load shedding). Such applications can be based on local or remote data. Similarly the outputs can perform local or remote actions. Programmable logic can be implemented in the C264 using either Programmable Scheme Logic (PSL) or the Programmable Logic Controller (PLC). PSL is for fast automation applications (<5ms). It is event-driven and so there is no cycle time. The optional PLC tool is fully compliant with IEC 61131-3. It can be used for complex or sequential automation applications.

### Local interface for control, operation and display

The control of switching devices is possible using a keypad and a graphical backlit LCD. Operations can be performed in a simple and intuitive way via up to 12 switchable displays for bay control. Additionally there are dedicated panels for monitoring (i.e. measurements, events list, alarms, etc.), display and maintenance. If required the operator panel can be mounted separately from the C264 (up to five meters away). Access barriers can be used to guard against inadvertent or unauthorised operations.

### Event logging

Up to 2,000 events can be stored in non-volatile memory. The events are time stamped and stored in chronological order.



### Time synchronization

The MiCOM C264 internal clock can be synchronised via:

- An operator
- IRIG-B GPS clock (via the IRIG-B input)
- Ethernet SNTP server
- Remote SCADA (DNP3.0, IEC60870-5-101 or IEC60870-5-104)

In addition, the MiCOM C264 can be configured as an SNTP server on an Ethernet network.

### Configuration & settings

Based on pre-defined libraries, individual configurations can be created rapidly. It is possible to modify the C264's settings on line, with the MiCOM S1 setting Tool (over Ethernet). The MiCOM C264 provides two configuration databases: one active and one inactive for fast and secure switching in case of system configuration changes.

### Ethernet communication

The MiCOM C264 is natively equipped with 2 independent Ethernet ports to connect to two separate LANs such as the local Station Bus and a remote SCADA. Integrated redundant fibre optic Ethernet switches are optionally available, utilizing Alstom's advanced Self Healing Ring and Dual Homing Star protocols.





## Performance and capabilities

### I/O processing capabilities

Including direct and IED points, the C264 can process up to:

- 5012 Digital inputs
- 1024 Digital outputs
- 1024 Analogue inputs
- 128 Digital counters
- 128 Digital setpoints
- 4 Current Transformers (CTs)
- 5 Voltage Transformers (VTs)
- 16 IEDs per serial link
- 64 Tap position indications

### Local HMI

Detachable up to 5 or 15 meters (optional)

### Storage capacities

The following records are stored in non-volatile memory:

- 2000 events, 1 ms time stamped, in the Sequence of Event log (circular buffer)
- Up to 8 Slow or Fast Waveform Records (SLW or FWR)
- FWR records store up to 8 analogue measurements (32 samples per cycle) and up to 128 digital inputs/outputs. The total recording time is equal to 9.6s
- SWR records store up to 8 RMS measurements (time calculation settable from 1 cycle to 1 hour) and up to 128 digital inputs/outputs. The total recording size is equal to 5000 values

Five waveform and disturbance files from IED devices connected to the C264.

### Communication capabilities

#### Ethernet communication:

- 10/100 Base-TX, auto-crossing or 100 Base-FX
- Protocols include UCA2 or IEC 61850, IEC 60870-5-104 (Multi-client) or DNP3.0 IP
- Embedded Ethernet switch module with up to six ports (permitting a compact connection of various devices or input/output extensions)

#### Serial communication:

- Up to two SCADA or four IED links per device
- SCADA protocol can be switched between DNP3.0, IEC 60870-5-101 & MODBUS
- IED Protocol can be switched between DNP3.0, IEC 60870-5-103, MODBUS & IEC 60870-5-101
- Transmission rate is configurable up to 38.4 kbps

### Multi-bay management

Management of up to 128 bays per unit is possible. Multi-bay panels manage graphically up to 12 panels with a maximum of eight animated devices per panel on the local LCD.

### General accuracy

- 1 ms clock accuracy when synchronising via SNTP or IRIG-B input.
- 1 ms time tagging of Digital inputs
- Digital outputs operating time, typically <7 ms.
- Analogue inputs are accurate to 0.1% of the full scale on the transducer.
- Programmable Scheme Logic execution time is < 5 ms.
- The configurable automation functions on the Programmable Logic Controller (PLC) can be scheduled from 50 ms up to several seconds.

### Direct CT/VT accuracy

- 64 sampled values per period
- 0.2% accuracy for AI and RMS values full scale
- 0.5% accuracy for P, Q, S calculations
- 0.5% accuracy for Sequence components (Id, Ii, Io, Vd, Vi, Vo) and power factor
- 0.01Hz accuracy for frequency
- 1° accuracy for Phase angles
- Calculation up to 15th harmonic.